

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA
E ENERGIA**



Estudo do potencial das imagens estereoscópicas WorldView 2 na
extracção de informação cartográfica para a Carta Militar 1:25 000

Sonia Liliana Mancilha Valente Baldaia

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOGRÁFICA

2013

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA
E ENERGIA**



Estudo do potencial das imagens estereoscópicas WorldView 2 na
extracção de informação cartográfica para a Carta Militar 1:25 000

Sonia Liliana Mancilha Valente Baldaia

Projecto orientado pela Professora Doutora Paula Redweik

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOGRÁFICA

2013

Índice

Índice	i
Índice de Figuras	iii
Índice de Tabelas	v
Índice de Gráficos	vii
Lista de Acrónimos	viii
Resumo	x
Abstract	xi
Agradecimentos	xii
1 Introdução.....	1
1.1 Fotogrametria	1
1.2 Objectivo do projecto	3
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 Satélite de Alta Resolução WorldView 2	5
3 Conceitos Teóricos	8
3.1 Sistemas de coordenadas	8
3.2 Rede SERVIR.....	10
3.3 Imagens de Satélite	14
3.3.1 Métodos de Captação.....	15
3.3.2 Níveis de processamento	17
3.3.3 Orientação das imagens de satélite	19
3.4 Critérios de Avaliação e Classificação de Cartografia	23
3.4.1 STANAG 2215.....	24
3.4.2 Erro Médio Quadrático.....	30
3.5 Modelos Digitais de Elevação	31
3.5.1 <i>Triangulated Irregular Network</i>	32
3.5.2 Malha regular de pontos	33
4 Material e métodos	34

4.1	Caracterização da Área de Estudo	34
4.2	Material usado no projecto.....	34
4.2.1	Imagens de satélite.....	34
4.2.2	Campanhas de campo.....	36
4.2.3	Processamento em gabinete	38
4.3	Metodologia	38
5	Execução do Projecto	41
5.1	1ª Fase – Aquisição de dados	41
5.1.1	Criação de projecto e importação de imagens de satélite	44
5.1.2	Orientação.....	46
5.1.3	Definição de zonas e objectos a restituir.....	48
5.1.4	Restituição.....	48
5.2	2ª Fase – Processamento de dados	56
5.2.1	Processamento e limpeza de dados	56
5.2.2	Junção e Comparação Espacial	59
5.3	3ª Fase – Análise de resultados.....	60
5.3.1	Comparação entre restituições	61
5.3.2	Validação com pontos GNSS	75
5.4	4ª Fase – Modelo Digital de Elevação.....	106
5.4.1	Correlação automática de pontos	106
5.4.2	Interpolação espacial.....	110
5.4.3	Validação do MDE	112
6	Conclusões.....	114
	Referências	117

Índice de Figuras

Figura 1 – Satélite WV 2	5
Figura 2 – Bandas Multiespectrais do WV 2 em comparação com as do satélite WV1 e QuickBird	6
Figura 3 – Projecção UTM	9
Figura 4 – Comunicações com VRS	11
Figura 5 – Esquema com rede de estações de referência	12
Figura 6 – Rede SERVIR	13
Figura 7 – Sensor de matriz e sensor linear	16
Figura 8 – Captação de imagem de satélite	16
Figura 9 – Produto Basic1B (a vermelho) e produto Standard1A (a verde)	19
Figura 10 – Diferença entre MDT (a vermelho) e MDS (a azul).....	31
Figura 11 – Exemplo de uma superfície e da TIN correspondente	33
Figura 12 – Exemplo de uma superfície e da GRID correspondente	33
Figura 13 – Área de estudo.....	34
Figura 14 – Imagem WV2 09DEC16115238	35
Figura 15 – Equipamento GNSS.....	37
Figura 16 – Equipamento TPS	37
Figura 17 – Orientação estação TPS	38
Figura 18 – Esquema com metodologia executada no projecto	39
Figura 19 – Planeamento da 1ª campanha de campo.....	42
Figura 20 – Imagem WV2 <i>Standard2A</i> – Zona de Sintra	43
Figura 21 – Imagem WV2 <i>Basic StereoPair</i> – Zona de Sintra	44
Figura 22 – Importação imagens satellite no <i>Photomod</i>	45
Figura 23 – Distribuição dos GCP's	47
Figura 24 – Distribuição dos pontos de orientação.....	47
Figura 25 – Designação das zonas de análise	48
Figura 26 – Restituição de diferentes operadores	49
Figura 27 – Comparação de coordenadas	50
Figura 28 – Identificação de postes de alta tensão	51
Figura 29 – Identificação de poços	52
Figura 30 – Elementos lineares.....	53
Figura 31 – Diferença na qualidade das imagens	53
Figura 32 – Visibilidade diminuída por nuvens	54
Figura 33 – Restituição com configurações diferentes	55
Figura 34 – Modelos criados com <i>Model Builder</i>	56

Figura 35 – Selecção específica de características.....	56
Figura 36 – Detecção de erros nos vertices	58
Figura 37 – Tabela de atributos do quadrado Q11	59
Figura 38 – Junção coordenadas imagem de satélite e coordenadas do campo	60
Figura 39 – Junção coordenadas fotografia aérea e coordenadas do campo	60
Figura 40 – Resultados na comparação entre restituições.....	73
Figura 41 – Resultados na restituição a partir de imagem de satélite.....	88
Figura 42 – Distribuição planimétrica da restituição a partir de imagem de satélite validada com GNSS.....	90
Figura 43 – Resultados na restituição a partir de fotografia aérea	103
Figura 44 – Janela busca de correlação automática de pontos.....	107
Figura 45 – Definição de critérios para autocorrelação	109
Figura 46 – Totalidade de pontos correlacionados automaticamente.....	109
Figura 47 – Resultado da interpolação por <i>Kriging</i>	111
Figura 48 – Localização dos pontos obtidos na 3ª campanha de campo	112
Figura 49 – Análise estatística	113

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características técnicas do WV 2.....	6
Tabela 2 – Critério de atribuição de classificação em termos de precisão geométrica absoluta.....	25
Tabela 3 – Critério de atribuição de classificação em termos de precisão horizontal absoluta.....	25
Tabela 4 – Critério de atribuição de classificação em termos de precisão vertical absoluta.....	25
Tabela 5 – Critério de atribuição de classificação em termos de actualização	25
Tabela 6 – Características das imagens de satélite	35
Tabela 7 – Precisão do equipamento GNSS.....	36
Tabela 8 – Precisão do equipamento TPS.....	37
Tabela 9 – Material auxiliar.....	38
Tabela 10 – Software utilizado	38
Tabela 11 – Precisão WV2 no Photomod	46
Tabela 12 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q11.....	61
Tabela 13 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q12.....	62
Tabela 14 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q13.....	64
Tabela 15 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q21.....	65
Tabela 16 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q22.....	66
Tabela 17 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q23.....	68
Tabela 18 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q31.....	69
Tabela 19 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q32.....	70
Tabela 20 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q33.....	72
Tabela 21 – Resultados da comparação de restituições na área total de restituição...	74
Tabela 22 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q11.....	76
Tabela 23 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q12.....	77
Tabela 24 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q13.....	78
Tabela 25 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q21.....	80
Tabela 26 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q22.....	81
Tabela 27 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q23.....	82
Tabela 28 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q31.....	84
Tabela 29 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q32.....	85
Tabela 30 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q33.....	86
Tabela 31 – Resultados da comparação da restituição satélite na área total de restituição	88

Tabela 32 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q11	91
Tabela 33 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q12	92
Tabela 34 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q13	94
Tabela 35 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q21	95
Tabela 36 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q22	96
Tabela 37 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q23	98
Tabela 38 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q31	99
Tabela 39 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q32	100
Tabela 40 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q33	102
Tabela 41 – Resultados da comparação da restituição fotografia na área total de restituição	104
Tabela 42 – Resultados da validação do MDE.....	113

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Planimetria dos pontos do quadrado Q11	62
Gráfico 2 – Planimetria dos pontos do quadrado Q12	63
Gráfico 3 – Planimetria dos pontos do quadrado Q13	64
Gráfico 4 – Planimetria dos pontos do quadrado Q21	66
Gráfico 5 – Planimetria dos pontos do quadrado Q22	67
Gráfico 6 – Planimetria dos pontos do quadrado Q23	68
Gráfico 7 – Planimetria dos pontos do quadrado Q31	70
Gráfico 8 – Planimetria dos pontos do quadrado Q32	71
Gráfico 9 – Planimetria dos pontos do quadrado Q33	72
Gráfico 10 – Planimetria dos pontos da área total restituída	74
Gráfico 11 – Planimetria dos pontos do quadrado Q11	76
Gráfico 12 – Planimetria dos pontos do quadrado Q12	78
Gráfico 13 – Planimetria dos pontos do quadrado Q13	79
Gráfico 14 – Planimetria dos pontos do quadrado Q21	80
Gráfico 15 – Planimetria dos pontos do quadrado Q22	82
Gráfico 16 – Planimetria dos pontos do quadrado Q23	83
Gráfico 17 – Planimetria dos pontos do quadrado Q31	84
Gráfico 18 – Planimetria dos pontos do quadrado Q32	86
Gráfico 19 – Planimetria dos pontos do quadrado Q33	87
Gráfico 20 – Planimetria dos pontos da área total restituída	89
Gráfico 21 – Planimetria dos pontos do quadrado Q11	92
Gráfico 22 – Planimetria dos pontos do quadrado Q12	93
Gráfico 23 – Planimetria dos pontos do quadrado Q13	94
Gráfico 24 – Planimetria dos pontos do quadrado Q21	96
Gráfico 25 – Planimetria dos pontos do quadrado Q22	97
Gráfico 26 – Planimetria dos pontos do quadrado Q23	99
Gráfico 27 – Planimetria dos pontos do quadrado Q31	100
Gráfico 28 – Planimetria dos pontos do quadrado Q32	101
Gráfico 29 – Planimetria dos pontos do quadrado Q33	102
Gráfico 30 – Planimetria dos pontos da área total restituída	104
Gráfico 31 – Comparação entre restituições da validação com pto GNSS em planimetria	105
Gráfico 32 – Comparação entre restituições da validação com pto GNSS em altimetria	106

Lista de Acrónimos

CCD – *Charge Coupled Device*

CMG – *Control Moment Gyros*

CMAS - Precisão Horizontal Absoluta (*Circular Map Accuracy Standard*)

DGNSS – *Differential Global Positioning System*

DGT – Direcção Geral do Território

DL – Decreto-Lei

dpi – *dots per inch*

E - Estes

eg – erro de graficismo

EMQ – Erro Médio Quadrático

ER – Estação de Referência

et – erro tolerável

GCP's – Pontos Fotogramétricos (*Ground Control Points*)

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

GPRS - *Global Packet Radio Service*

GSD – *Ground Sample Distance*

GSM - *Global System for Mobile Communications*

GRID – Malha regular de pontos

IFOV – *Instantaneous Field Of View*

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

LGO – *Leica Geo Office*

LMAS – Precisão vertical absoluta (*Linear Map Accuracy Standard*)

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

MMQ – Método de Mínimos Quadrados

N - Nortes

NMEA – *National Marine Electronics Association*

NATO – *North Atlantic Treaty Organization*

OR2A – *Ortho-Ready Standard*

ppp – pontos por polegada

RPC's – Coeficientes polinomiais racionais (*Rational Polynomial Coefficients*)

RTCM – *Radio Technical Commission for Maritime Services*

RTK – *Real-Time Kinematic*

SBS – *Single Base Station*

SERVIR – Sistema de Estações de Referência GNSS Virtuais

SICOM – Sistema Integrado de Telecomunicações do Exército Português

SIG – Sistema de Informação Geográfica

STANAG 2215 – *Standardization Agreement 2215*

TGO – *Trimble Geomatics Office*

TIN – *Triangulated Irregular Network*

TLD – Transformação Linear Directa

TPS – *Total Station Positioning System*

UTM – *Universal Transverse Mercator*

VRS – *Virtual Reference Station* (Estação de Referência Virtual)

WGS84 – *World Geodetic System 84*

WV2 – Satélite *WorldView 2*

Resumo

O Instituto Geográfico do Exército, como órgão produtor de informação geográfica, em termos de cartografia nacional oficial com a sua Carta Militar à escala 1:25 000, investe recursos humanos e materiais no sentido de otimizar processos. Face à grande inovação tecnológica e à utilização de novos sensores orbitais de alta resolução, tal como o satélite WorldView 2, constatou-se o desenvolvimento de novas metodologias aplicadas na fotogrametria em termos de estereorrestituição.

Neste sentido, surge a ideia de estudar a possibilidade do emprego dessas novas metodologias na cadeia de produção do IGeoE visando uma melhor rentabilização de meios e processos. É neste intuito que se realiza o presente trabalho, pretendendo-se avaliar a qualidade da informação cartográfica para a Carta militar 1:25 000, obtida através de estereorrestituição a partir de imagens do satélite WV2 estereoscópicas nas categorias de objectos planimétricos do tipo ponto, linha e polígono constantes no Catálogo de Objectos do IGeoE. Para além disso, avaliar ainda a qualidade da informação altimétrica gerada por correlação automática das imagens WV2 estereoscópicas através da análise de um DTM dela gerado.

Primeiramente são abordados temas como o satélite WV2, suas imagens e demais características, os critérios de avaliação e classificação de cartografia usados pelo IGeoE. Seguidamente é apresentada a estereorrestituição a partir das imagens de satélite e a avaliação da sua qualidade posicional, feita através da comparação com a restituição feita por fotografia aérea, assim como através da comparação com dados recolhidos com técnicas GNSS no campo. Por fim são gerados modelos digitais de elevação e efectuada a sua avaliação altimétrica através da comparação com dados do campo, coligidos com técnicas GNSS.

Assim, o objectivo principal deste projecto é avaliar se o uso de imagens de satélite é adequado, em termos de precisão geométrica, de viabilidade técnica e de tempo despendido, para a cartografia 1:25 000 produzida pelo IGeoE.

Palavras-chave: Informação cartográfica, Carta Militar 1:25 000, Imagens de satélite WorldView2, Estereorrestituição, Modelo Digital de Elevação.

Abstract

The Instituto Geográfico do Exército, as a producer of geographic information, invests a relevant amount of human and material resources in the production of its Military Map at scale 1:25 000, to improve the quality of the produced information. Given the technological innovation and the use of new high-resolution satellite sensors, such as the WorldView 2 satellite, some development of new methodologies has occurred in terms of photogrammetry to cope with this kind of cartographic information source.

So, aiming a better use of the resources and processes in the production chain of IGeoE, it was advisable to study the possibility of using these new methodologies. The present work follows this line of approach, evaluating the process and results of producing cartographic information for the Military Map in scale 1:25 000, but this time using WV2 satellite images instead of aerial photos to obtain objects of the type point, line and polygon, contained in the Objects Catalog used by IGeoE.

Topics such WV2 satellite, images and other characteristics and criteria for evaluation and map classification used by IGeoE will be firstly addressed. Then the photogrammetry procedures using satellite images will be described and the evaluation of the positional quality of stereoplotted information will be made by comparing with information stereoplotted from aerial photography, as well as with data collected with GNSS techniques in the field. Digital elevation models will be generated from the satellite stereo pair and their positional evaluation will be done by comparison with field data, collected with GNSS techniques.

Thus, the main objective of this project is to evaluate if the use of high resolution stereo satellite imagery is appropriate for the 1:25 000 maps produced by IGeoE in terms of geometric accuracy, economic feasibility and required time.

Key words: Cartographic Information, Satellite WorldView 2 Images, Digital Elevation Model.

Agradecimentos

Terminada esta fase do mestrado, é meu dever agradecer a todos aqueles que contribuíram, directa ou indirectamente, para a sua concretização.

Agradeço à Professora Doutora Paula Redweik, minha orientadora, pela sua disponibilidade, pelo interesse pelo tema sugerido e pelo constante e excepcional acompanhamento e orientação ao longo de todo o projecto.

Agradeço ao Instituto Geográfico do Exército como um todo, pela disponibilização ilimitada e sempre atempadamente no que respeita a pessoal e meios para a consecução do projecto neste momento de grandes restrições orçamentais.

Agradeço ao Tenente-Coronel Rui Dias, pelo acompanhamento e aconselhamento durante o período de realização deste projecto. Um agradecimento especial à secção de fotogrametria, na pessoa do SAJ Dias pela disponibilidade e empenho no esclarecimento de dúvidas, assim como pelo trabalho efectuado aquando da restituição a partir das imagens de satélite.

Agradeço também à secção de topografia, nas pessoas do Major Rui Teodoro e Major Nuno Mira, pela prontidão e eficácia na consecução do planeamento e execução de todas as campanhas de campo e posterior processamento.

Quero, também, agradecer à Inforgeo, na pessoa do Engenheiro Carlos Lima, pelo fornecimento das imagens de satélite assim como todos os dados relativos a estas, pois sem estas não seria possível realizar este projecto.

E não poderia passar sem agradecer a todas as pessoas com quem troquei impressões e que me ajudaram de alguma forma a enriquecer este trabalho, em especial ao meu marido Capitão Pedro Dias.

1 Introdução

1.1 Fotogrametria

Nas últimas oito décadas verificou-se que, a fotogrametria teve um crescimento surpreendente, seja como técnica ou como ciência, e que se consolidou como instrumento fundamental para a produção e edição de cartas em todo o mundo.

Em termos de cartografia nacional, talvez a mais notável realização dos últimos tempos e com maior impacto nas mais diversas actividades, é a Carta Militar de Portugal 1:25 000 série M888, por ser a maior escala que cobre de forma sistemática, coerente e homogénea todo o território nacional, sendo por isso considerada a carta base de Portugal.

Assim, ao abrigo do disposto no Decreto-Lei (DL) 193/95, de 28 de Julho, com a redacção que lhe foi dada pelo DL 202/2007, de 25 de Maio, a cartografia topográfica e a cartografia de base topográfica produzida pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) é cartografia oficial, sendo actualmente a única entidade produtora de cartografia do território português na escala 1:25 000. Por este facto, o IGeoE continua a dedicar o seu esforço de produção à Carta Militar de Portugal 1:25 000.

Esta carta, numa primeira fase, foi produzida por processos clássicos, passando por várias fases de evolução ao longo dos anos. Actualmente, a aquisição dos dados cartográficos é feita com recurso a fotografias aéreas e a equipamentos de estereorestituição fotogramétrica digital aplicando técnicas de triangulação aérea apoiadas por computador para georreferenciação das fotografias. Esta evolução de metodologia, permitiu ao IGeoE minimizar os custos de produção e tempo de execução das tarefas, continuando a promover e assegurar a qualidade dos seus produtos e optimizando processos.

Posto isto, interessa abordar um pouco o conceito de fotogrametria digital. Esta é uma tecnologia de informação usada para gerar informações geométricas, radiométricas e de semântica sobre objectos no universo tridimensional, obtidas a partir de imagens digitais bidimensionais desses objectos.

Com o enorme desenvolvimento tecnológico sentido na última década, proporcionaram-se diversos recursos disponíveis para a fotogrametria digital para além da fotografia aérea. De facto, com o surgimento de imagens de satélite de alta

resolução, com dimensões de pixel no terreno na ordem de 50 centímetros, tornou-se imperativo o estudo da sua eventual aplicação no processo de produção cartográfica, actualmente executado no IGeoE.

Inicialmente, as imagens de satélite tinham uma baixa resolução espacial, ou seja, havia grandes dificuldades em distinguir os inúmeros objectos registados. Isto era causado pelo aumento, ainda insuficiente, dos sistemas de lentes e pela grande distância entre os satélites e a superfície captada.

Este facto levava à impossibilidade de adaptação dessas imagens à estrutura já montada para a produção cartográfica, através de processos fotogramétricos que eram direccionados para imagens tiradas a partir de aviões, segundo determinados padrões. Outro motivo, para não se considerar as imagens de satélite era o facto dos sistemas computacionais de processamento de imagem digital serem ainda demasiado rudimentares, não conseguindo solucionar as pesadas rotinas fotogramétricas e impossibilitando a visualização estereoscópica das imagens. Acresce que eram raras as imagens estereoscópicas obtidas por um satélite na mesma trajectória e os pares que se obtinham de trajectórias diferentes (variando no tempo e/ou espaço) não se adequavam a uma estereorrestituição.

Contudo ao longo dos últimos tempos, foram lançados vários satélites de alta resolução capazes de captar imagens com resoluções espaciais melhores que cinco metros. Exemplos desses são: o GeoEye 1 com resolução ao nível do pancromático de 0.41 metros e multiespectral de 1.65 metros; o WorldView 2 com resolução ao nível do pancromático de 0.46 metros e multiespectral de 1.84 metros; o WorldView 1 com resolução ao nível do pancromático de 0.5 metros; o IKONOS com resolução ao nível do pancromático de 1 metro e multiespectral de 4 metros; o QuickBird com resolução ao nível do pancromático de 0.61 metros e multiespectral de 2.44 metros, entre outros.

Assim sendo, e face ao grande desenvolvimento tecnológico ocorrido nos sensores orbitais, a utilização de imagens de satélite para a produção de cartografia poderá trazer vantagens relativamente à fotografia aérea, entre outras, a possibilidade de aquisição periódica e cobertura de grandes áreas a custos aceitáveis. Contudo, também existem desvantagens, como a dificuldade na identificação de objectos com precisão.

Se até agora a produção da informação cartográfica no IGeoE, assentava essencialmente em técnicas com recurso à fotografia aérea, face aos factos anteriormente referidos, encontram-se reunidas as condições necessárias ao teste e

desenvolvimento de novas abordagens para a produção de informação geográfica, a grande escala, com base em imagens de satélite de alta resolução.

Neste sentido, e pelo facto de na maioria dos casos pesquisados na literatura não se ter verificado o uso de cobertura estereoscópica a partir de imagens satélite essencial para a restituição de informação 3D, um dos objectivos deste projecto é estudar a utilidade e valor da integração de imagens de satélite de alta resolução no processo de produção cartográfica do IGeoE.

1.2 Objectivo do projecto

O trabalho consiste em produzir vários tipos de informação cartográfica de acordo com as normas de aquisição da Carta Militar 1:25 000, através de estereorrestituição de imagens de satélite de alta resolução WorldView 2 (WV2) e avaliar a sua qualidade. Assim, em 9 áreas representativas, far-se-á a avaliação da qualidade planimétrica e altimétrica da informação adquirida, através de controlo posicional obtido por campanhas de campo e através da comparação com informação estereorrestituída por fotografia aérea.

O objectivo principal é avaliar se o uso de imagens de satélite de alta resolução é adequado, em termos de precisão geométrica, de viabilidade técnica e tempo despendido, para a cartografia à escala 1:25 000 produzida pelo IGeoE, actualmente feita a partir de fotografias aéreas.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação do projecto está organizada de forma a enquadrar os conceitos relativos à estereorrestituição digital de imagens de satélite assim como descrever todo o processo prático do projecto. Esta encontra-se organizada em 6 Capítulos.

O presente Capítulo 1 trata da introdução ao tema, da definição do objectivo proposto para o projecto assim como a estrutura apresentada.

No Capítulo 2 é apresentada toda a informação relativa ao satélite de alta resolução WV2.

No Capítulo 3 é feita uma revisão de literatura, onde são apresentados os diversos conceitos relativos a procedimentos aplicados ao longo de todo o projecto. Aqui são abordados temas como sistemas de coordenadas, a Rede SERVIR, compreender as

imagens de satélite desde a forma como são captadas, passando pelo seu processamento e orientação. É feita também, uma clarificação dos critérios de avaliação e classificação da cartografia em termos de qualidade aplicados no projecto, assim como abordados conceitos relativos a modelos digitais de elevação.

No Capítulo 4 é referido o material e métodos utilizados na realização do projecto, assim como a caracterização da área de estudo. Aqui são descritos todos os passos referentes à metodologia adoptada, apresentando as justificações de diversas opções ao longo do trabalho.

No Capítulo 5 é apresentada a execução do trabalho assim como os diversos produtos gerados. É descrito todo o procedimento executado nos diversos *softwares*, as dificuldades experimentadas e ultrapassadas assim como a análise aos resultados obtidos. Esta consiste numa comparação de produtos gerados por métodos diferentes assim como na validação dos mesmos. Também neste capítulo é apresentado todo o processo relativo ao Modelo Digital de Elevação (MDE), passando pela geração de pontos através de correlação automática de imagens estereoscópicas, a análise exploratória dos pontos obtidos, o método de interpolação aplicado aos mesmos, finalizando com a validação do modelo gerado.

No Capítulo 6 são elaboradas as considerações finais, avaliando em que medida os objectivos propostos na dissertação foram cumpridos tendo em consideração os resultados obtidos ao longo de todo o projecto.

2 Satélite de Alta Resolução WorldView 2

O satélite WV2 (Figura 1) foi lançado em Outubro de 2009, entrando em pleno funcionamento a 5 de Janeiro de 2010. O sistema utiliza a tecnologia *Control Moment Gyros* (CMG), ou seja, um giroscópio de controle de momento. Este fornece agilidade e rápido direccionamento para a recolha de imagens estereoscópicas *In-Track*, ou seja, numa mesma passagem [Digital Globe, 2010].

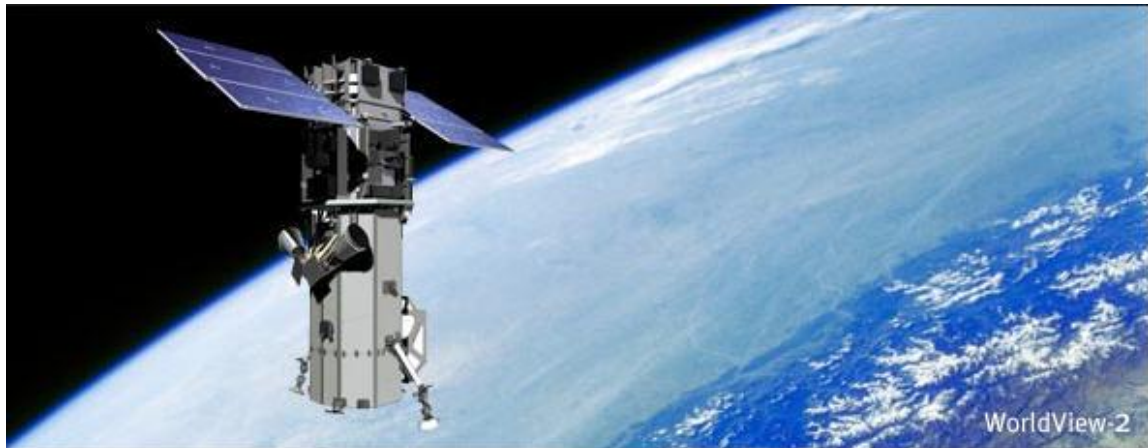


Figura 1 – Satélite WV 2
Fonte: [Digital Globe, 2010]

Esta plataforma orbital possibilita diversas aplicações para estudos científicos, análises ambientais, monitorização, cadastro, planeamento de território, visualização em três dimensões, entre outras.

O satélite possui uma órbita heliosíncrona descendente com período de cerca de 100 minutos a uma altitude de 770 *km* e com uma inclinação de 97.9°. O tempo médio de revisita é 1.1 dias com uma largura de faixa de 16.4 *km* no nadir, sendo capaz de recolher 550 000 *km*² por dia. O seu sensor é linear do tipo *Pushbroom* com cerca de 30 000 CCD's (Charge Coupled Device). Este satélite tem 7.25 anos de vida útil estimada.

O WV2 tem capacidade de recolher imagens pancromáticas com uma resolução espacial média de 0.46 metros e imagens espectrais com 1.84 metros. Trata-se do primeiro satélite de alta resolução a dispor de 8 bandas espectrais estreitas: azul costeiro, azul, verde, amarelo, vermelho, vermelho escuro, infravermelho próximo 1 e infravermelho próximo 2, como ilustra a Figura 2.



Figura 2 – Bandas Multiespectrais do WV 2 em comparação com as do satélite WV1 e QuickBird
Fonte: [Digital Globe, 2010]

A maior sensibilidade em distinguir os níveis de cinzento das regiões do espectro eletromagnético deste sistema e a sua alta resolução espacial proporcionam uma maior gama de estudos e pesquisas para a comunidade científica.

As principais características técnicas do WV2, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características técnicas do WV 2

Elementos Orbitais	
Tipo de Órbita	Heliossíncrona
Altitude	770 km
Inclinação	97.9°
Órbitas por dia	15
Taxa de revisita	1.1 dias com 1 metro ou menos de GSD 3.7 dias com 20° off-nadir ou menos (0.52 metros GSD)
Instrumentos	
Banda Espectral	Pancromática: 450-800nm 8 multiespectrais: Azul costeiro: 400-450nm Azul: 450-510nm Verde: 510-580nm Amarelo: 585-625nm Vermelho: 630-690nm Vermelho Escuro: 705-745nm Infravermelho próximo 1: 770-895nm Infravermelho próximo 2: 860-1040nm
Resolução Espacial	Pancromático:

	46cm nadir 52cm a 20° off-nadir Reamostragem a 50cm Multispectral: 1.84m nadir Reamostragem a 2m
Resolução Radiométrica	11 bits/pixel
Largura de faixa	16.4 km nadir
Ângulo de visão	Normalmente +/- 45° off-nadir = 1355 km de largura de faixa
Trajectória de voo	Descendente

3 Conceitos Teóricos

3.1 Sistemas de coordenadas

Este projecto baseia-se no sistema e elipsoide de referência *World Geodetic System 84* (WGS84) e na projecção cartográfica *Universal Transverse Mercator* (UTM). As imagens de satélite gentilmente, fornecidas pela *InforGeo*, encontravam-se no sistema WGS84, optando-se assim por trabalhar toda a informação no referido sistema de coordenadas.

Toda a informação do IGeoE, restituída por fotografia aérea, encontrava-se em coordenadas WGS militares, ou seja, WGS84 e projecção *Transversa de Mercator* (TM).

O sistema geodésico mundial WGS84 é um sistema de coordenadas tridimensional, comum e ortogonal. A origem do sistema de coordenadas WGS84 (centro de massa da Terra) também é usada como o centro geométrico do elipsoide WGS84 e o eixo dos ZZ serve como eixo de rotação desse elipsoide de revolução. O elipsoide WGS84 é identificado como sendo um elipsoide de revolução geocêntrico e equipotencial, ou seja, é uma superfície onde o potencial gravítico teórico é o mesmo em qualquer ponto.

A projecção UTM (Figura 3) é um sistema de representação que serve para reproduzir uma superfície não plana numa folha plana e abrange toda a Terra, com excepção das zonas polares. Isto resulta na composição de 60 fusos distintos que representam a superfície da Terra, em que cada fuso tem uma amplitude de 6° de longitude. Em termos de latitudes, o sistema é limitado pelos paralelos 84°N e 80°S, onde as deformações ainda não são significativas.

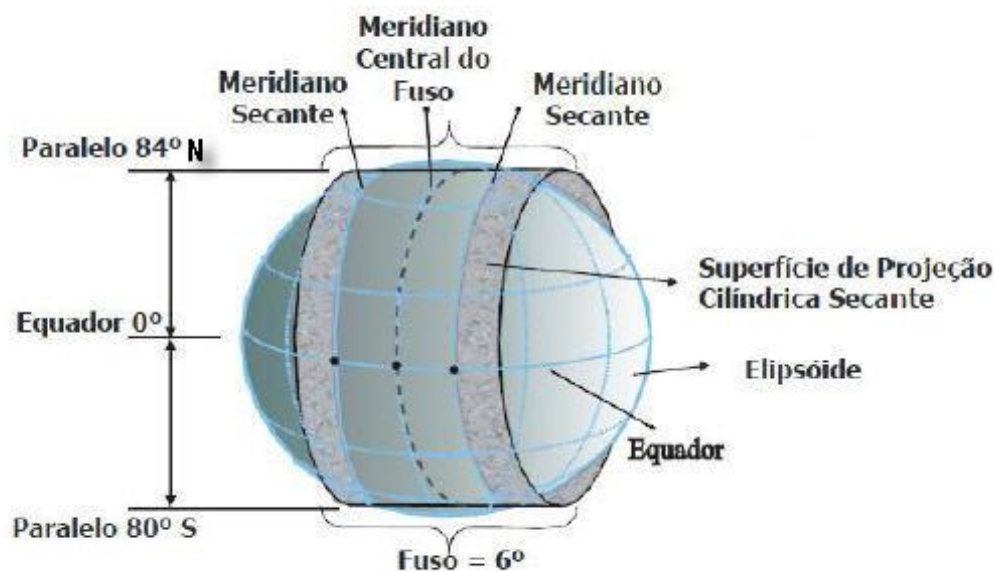


Figura 3 – Projecção UTM
Fonte: [Peter H. Dana, 1997]

Portanto, para cada fuso, utiliza-se um cilindro secante para que se reduzam as deformações; nas secantes não existem deformações. Constituem-se assim 60 fusos, cada um deles identificado por um número, de 1 a 60, a partir do anti-meridiano de Greenwich (longitude do meridiano central do fuso = 180°) e crescendo para Leste.

A partir do paralelo 80° S para norte, considera-se ainda uma série de paralelos regularmente intervalados de 8° em 8° (excepto o último compreendido entre a latitude 72° N e 84° N, cujo intervalo é de 12°). Constitui-se assim uma série de 20 linhas de zonas, cada uma delas identificada por uma letra, desde C a X, com excepção da letra I e letra O, a partir do Sul. Entre os paralelos, de latitude 84° N e 80° S fica assim constituída uma rede geográfica de meridianos e paralelos definindo $60 \times 20 = 1200$ zonas, cada uma delas com amplitude de 6° em longitude e 8° em latitude (excepto a linha de zonas compreendida entre os paralelos 72° N e 84° N que tem 6° por 12°).

Cada fuso possui os seus eixos de referência próprios, que são constituídos pelo meridiano central do fuso, ao qual se atribuiu, por convenção, uma distância fictícia à meridiana de 500 000 metros, a fim de evitar coordenadas negativas para os pontos situados a oeste do meridiano central; e pelo equador, ao qual se atribuiu, por razões semelhantes, uma distância fictícia à perpendicular de 0 ou 10 000 000 metros, conforme se referir às zonas situadas nos hemisférios Norte ou Sul respectivamente.

Com tais convenções, todos os pontos dum dado fuso situado a leste do seu meridiano central terão uma distância à meridiana superior a 500 000 metros.

Analogamente, se uma zona está situada no hemisfério Norte, a distância fictícia à perpendicular de qualquer dos seus pontos é superior a 0 metros, enquanto se estiver no hemisfério Sul é inferior a 10 000 000 metros.

3.2 Rede SERVIR

De modo a melhor se compreender a estrutura e funcionamento da Rede SERVIR-Sistema de Estações de Referência GNSS Virtuais do IGeoE (a qual foi usada em todas as campanhas de campo) é importante referir, de forma simplificada, o método de posicionamento por *Global Navigation Satellite System* (GNSS) envolvido neste tipo de trabalho: o método *Real-Time Kinematic* (RTK).

O método RTK é baseado na medição da distância receptor-satélite através da fase da onda portadora. A metodologia associada ao RTK, baseia-se no princípio de que os erros que afectam o cálculo da posição absoluta no *Global Positioning System* (GNSS) são aproximadamente iguais numa determinada área geográfica em que se esteja a trabalhar. Esses erros resultam dos efeitos da Ionosfera, Troposfera, órbitas dos satélites GNSS, osciladores dos satélites e dos receptores, entre outros.

O posicionamento RTK utiliza correcções de fase, fazendo uma correlação temporal e espacial dos erros, obtendo-se precisões posicionais centimétricas. Existem dois métodos de obtenção de correcções em RTK:

- *Single Base Station* (SBS): este método consiste em colocar um receptor GNSS, designado por Estação de Referência (ER), num ponto de coordenadas conhecidas (exemplo: vértice geodésico). Assim, este pode comparar as coordenadas calculadas através do GNSS com as desse ponto, obtendo-se as correcções diferenciais. Estas, depois são radiodifundidas para outro receptor GNSS, denominado de móvel, de modo a corrigir as coordenadas calculadas por este. Este método apresenta como restrição a distância entre receptores ter de ser não superior a 10km, além de existirem outros inconvenientes como o facto de necessitar de mais do que um receptor GNSS.

- *Rede RTK*: a grande diferença para o anterior é que em vez de utilizar apenas uma ER, utiliza várias estações de referência GNSS com coordenadas conhecidas com exactidão. Da análise de cada estação resulta um conjunto de resíduos que, no seu conjunto permitirão modelar os erros sistemáticos numa dada região e é criado um modelo de correcção dos erros, em tempo real e criada uma estação virtual, denominada Estação de Referência Virtual (VRS-*Virtual Reference Station*).

O conceito VRS é baseado numa rede de estações de referência permanentes, que estão ligadas entre si e ao centro de controlo através de uma infra-estrutura de comunicações. O *software* existente no centro de controlo, ao receber os dados de todas as estações de referência, vai monitoriza-las, analisando permanentemente as portadoras L1 e L2 no que respeita a erros de ionosfera e de troposfera, erros das efemérides e ambiguidades. Terminada esta tarefa, o *software* utiliza esta informação de forma a diminuir a influência dos erros sistemáticos.

O receptor móvel, através de uma ligação bidireccional por *Global System for Mobile Communications* (GSM) ou *General Packet Radio Service* (GPRS), envia a sua posição aproximada para o centro de controlo, numa mensagem *standard National Marine Electronics Association* (NMEA). (Figura 4)

O centro de controlo recebe a posição e responde, enviando para o receptor móvel correcções em formato *Radio Technical Commission for Maritime Services* (RTCM) ou em formato proprietário *Compact Measurement Record* (CMR). Assim que o móvel recebe esses dados, actualiza a sua posição para uma solução *Differential Global Positioning System* (DGNSS). A solução DGNSS tem uma precisão de cerca de um metro, o que é suficientemente bom para assegurar que as distorções atmosféricas e das efemérides modeladas para a totalidade da rede sejam aplicadas correctamente. De seguida envia a sua nova posição para o centro de controlo.

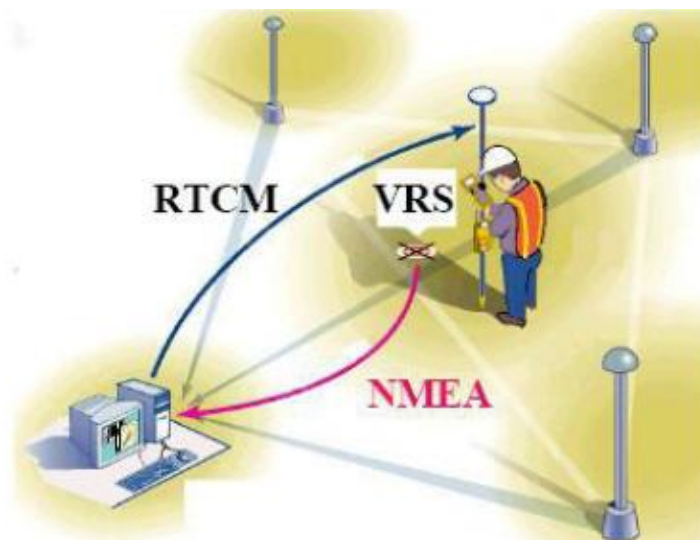


Figura 4 – Comunicações com VRS
Fonte: [Landau *et al.*, 2002]

O centro de controlo, por sua vez, efectua novo cálculo de correcções que envia ao móvel. Essas correcções aparecem como se uma estação de referência junto ao móvel existisse (estação virtual VRS). Como o móvel pode estar em qualquer ponto da

rede, o *software* de cálculo utiliza toda a informação disponível, no sentido de interpolar a posição do móvel. Aqui é usada uma técnica especial de interpolação, utilizando uma aproximação linear ponderada e um ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), com base na parte residual dos erros das estações de referência. Esta técnica de interpolação, tanto permite interpolar para um utilizador no interior da rede, como extrapolar para outro utilizador que esteja fora dessa rede. (Figura 5)

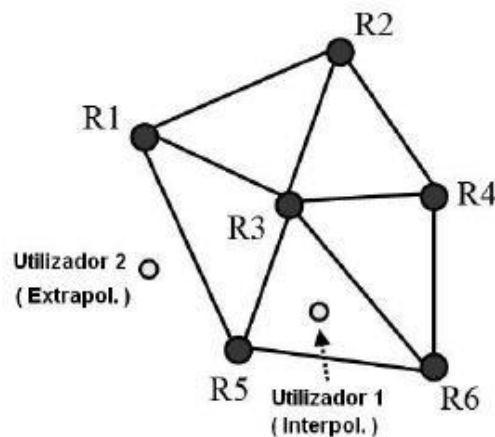


Figura 5 – Esquema com rede de estações de referência
Fonte: [Landau *et al.*, 2002]

O IgeoE é o proprietário da rede “SERVIR” – **Sistema de Estações de Referência GNSS Virtuais** para RTK, cujo objectivo é melhorar a aquisição de dados para a cadeia de produção do IgeoE, nomeadamente as coordenadas no terreno por parte das equipas de topografia do IGeoE. Este projecto estabeleceu uma rede de estações de referência GNSS para posicionamento em tempo real.

O sistema é fundamentalmente constituído por três componentes principais: um conjunto de estações de referência GNSS localizadas de forma precisa ao longo do Território Nacional (Figura 6); um sistema de comunicações fiável e um centro de cálculo, vigilância e controlo de todo o sistema.

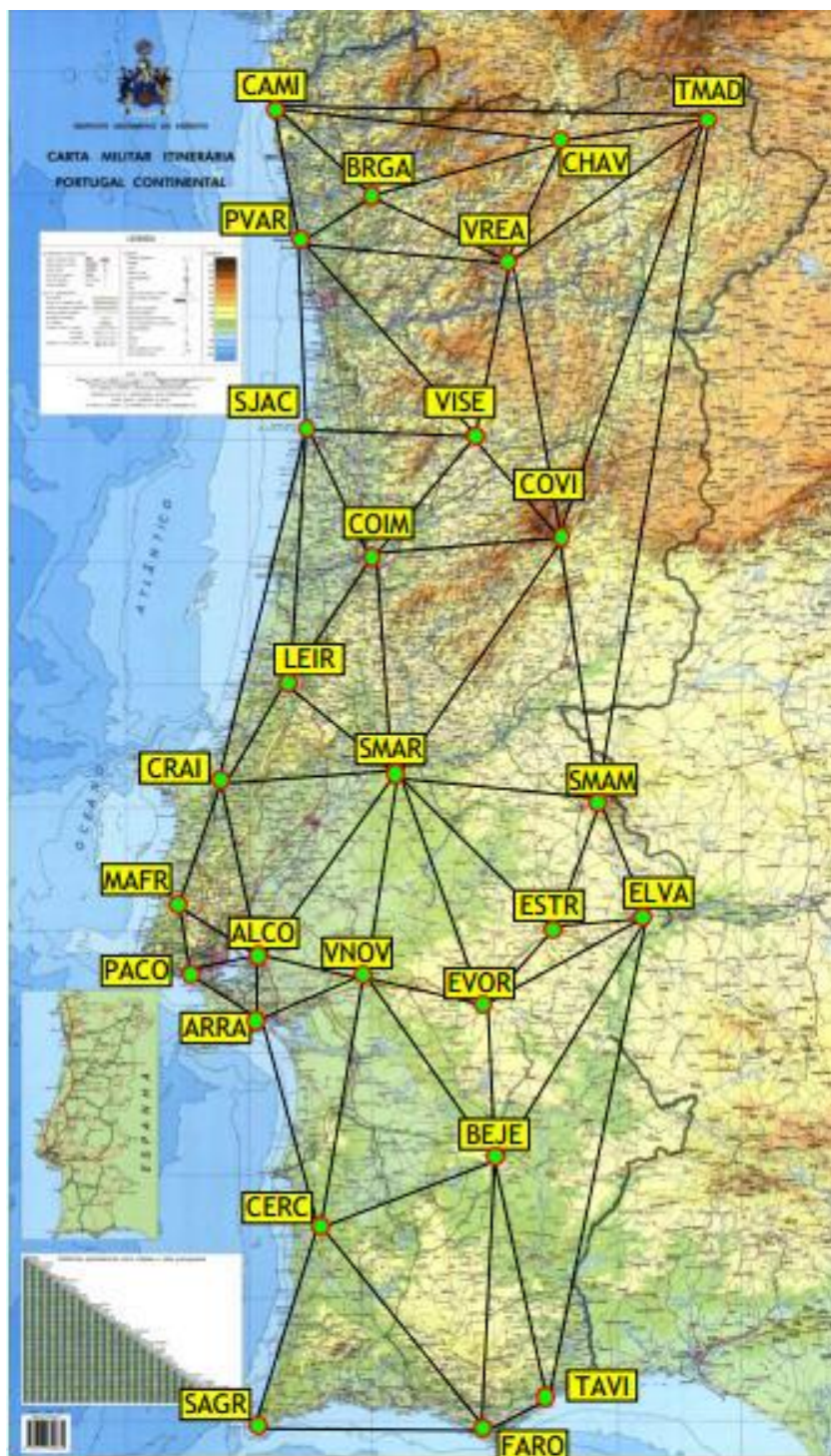


Figura 6 – Rede SERVIR
Fonte: [IGeoE, 2012]

Basicamente o sistema permite que um utilizador estabeleça uma ligação com o centro de cálculo (via WEB, GSM em que tem capacidade mas não se encontra instalado ou GPRS), o qual, após processadas as observações GNSS, disponibiliza as correcções diferenciais aplicáveis à área onde se pretende executar o trabalho. É um conceito aparentemente simples, que se baseia no princípio de que os erros que afectam os receptores GNSS dos utilizadores que estejam no interior da rede, são

determináveis pelo sistema, em função dos erros obtidos nas estações envolvidas, permitindo calcular as correcções para a posição do receptor do utilizador. Havendo forma de fazer chegar quase instantaneamente essas correcções aos equipamentos dos utilizadores do sistema, é possível obter em tempo real as coordenadas corrigidas e precisas de qualquer ponto no terreno.

A rede SERVIR está assente em material da mais recente tecnologia GNSS, utilizando antenas geodésicas Zephyr II e receptores NetR5, ambos da Trimble. Em termos de comunicações, baseia-se no Sistema Integrado de Telecomunicações do Exército Português (SICOM) e em termos de processamento, cálculo e controlo, utiliza o *software* Trimble GNSS Net, Trimble NTrip Caster e Base de dados MS Office Access. [IGeoE, 2013].

3.3 Imagens de Satélite

As imagens de satélite são imagens obtidas a partir de um sensor óptico colocado numa plataforma orbital.

Uma imagem digital é uma função $f(x,y)$ discreta e bidimensional da intensidade da luz, onde x e y denotam as coordenadas espaciais e o valor da função f em qualquer ponto (x,y) é proporcional ao brilho ou nível de cinzento da imagem naquele ponto [Gonzalez *et al*, 2000].

Desta forma, uma imagem digital pode ser entendida como uma matriz, cujas colunas e linhas identificam um ponto na imagem. O elemento da matriz correspondente a esse ponto identifica o valor de brilho ou nível de cinzento. Os elementos dessa matriz são denominados pixels (*picture elements*).

Há duas componentes principais que definem a qualidade de imagens digitais: as resoluções espacial e radiométrica [Mikhail *et al*, 2001]. A resolução espacial da imagem está relacionada com as dimensões do pixel na imagem, ou seja, a taxa de amostragem da imagem sendo frequentemente expressa em pontos por polegada (ppp) ou *dots per inch* (dpi). Já a resolução radiométrica da imagem depende dos níveis de quantização adoptados. Se uma imagem é quantizada em n bits, ela possuirá 2^n valores de brilho.

Além destas duas resoluções, existem ainda a resolução temporal, que diz respeito à frequência com que imagens da mesma região são obtidas; e a resolução espectral, caracterizada pelo número de bandas espectrais em que a imagem é obtida. Estas

duas últimas resoluções são mais comuns de considerar quando se trata de sensores a bordo de satélites.

Assim, em termos de imagens de satélite e devido à existência de vários tipos de sensores, neste capítulo irão ser abordadas características inerentes às imagens geradas pelo satélite WV2, de acordo com a terminologia usada pelo seu fabricante, a *DigitalGlobe*.

Por norma, as imagens fornecidas variam de acordo com o nível de processamento assim como com a precisão posicional pretendida. Normalmente junto com o produto é fornecido um conjunto de arquivos de suporte para ajudar na análise e processamento das imagens.

A *Digital Globe* disponibiliza três opções de banda para as imagens: Pancromático; Multiespectral com 8 bandas e *Pan-Sharpned* sendo este um produto combinado entre a informação visual dos dados multiespectrais com a resolução espacial dos dados pancromáticos.

3.3.1 Métodos de Captação

As câmaras digitais são dispositivos para a recolha e armazenamento de imagens digitais. Assim, uma câmara digital possui um sistema de lentes, um sistema sensor CCD, processadores e memória para o armazenamento das imagens. [Tommaselli *et al*, 2000]

Os raios de luz provenientes do objecto atingem o sistema de lentes da câmara e são focalizados no sistema sensor CCD. Em cada célula do sensor é produzida uma carga eléctrica proporcional à intensidade da luz incidente. Esta carga eléctrica é então amplificada e convertida da forma analógica para um sinal digital, que é armazenado numa memória temporária.

Existem vários tipos de sensores que podem ser usados: sensores CCD matriciais e sensores CCD lineares. As imagens obtidas através de sensores de matriz, podem ser processadas como se de câmaras digitais se tratassem pois no sensor é gerada uma imagem matricial instantânea do terreno.

No sensor linear do tipo *Pushbroom*, que significa que o terreno é varrido continuamente à medida que o satélite se move ao longo da sua trajetória, e onde sucessivas linhas são adquiridas perpendicularmente à linha da trajetória (Figura 7).

Cada linha que compõe a imagem é tirada num instante diferente, impondo-se condições diferentes de orientação.

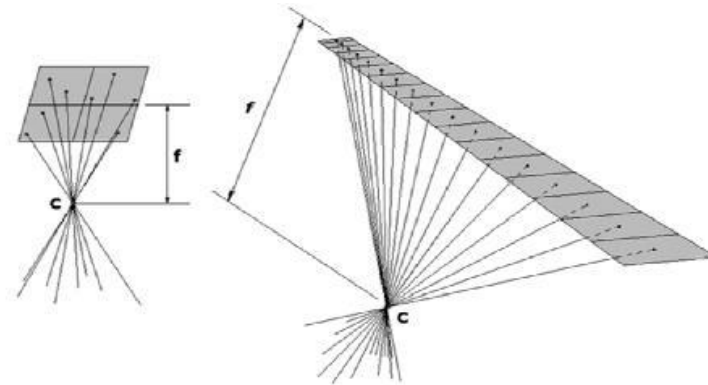


Figura 7 – Sensor de matriz e sensor linear
Fonte: [Mikhail *et al.*, 2001]

Como, com o sensor de matriz todos os pixels que compõem a imagem são registrados no mesmo momento, apenas são necessários seis elementos de orientação: três de posição do centro de projecção e três rotações espaciais do eixo fotográfico. No sensor linear do tipo *Pushbroom*, cada linha que compõe a imagem é registrada num instante diferente, sendo a imagem disponibilizada composta por varias linhas, conforme mostra a Figura 8.

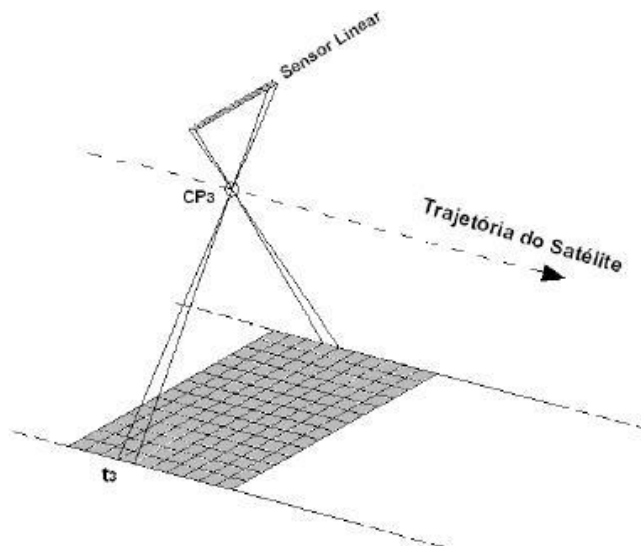


Figura 8 – Captação de imagem de satélite
Fonte: [Adaptação de Wolf e Dewitt, 2000]

Logo, cada linha que compõe a imagem é independente correspondendo a uma posição de centro de projecção e orientação do eixo fotográfico próprios devido ao movimento da plataforma, tornando o processo de orientação dessas imagens uma tarefa mais complexa do que nos sensores de matriz. Daí a aplicação de diversos modelos matemáticos diferentes para estabelecer a relação entre os pontos do espaço

imagem e do espaço objecto, tentando assim reproduzir a realidade física da aquisição da imagem pelo sensor no momento em que ela é capturada.

3.3.2 Níveis de processamento

As imagens WV2 são fornecidas com cinco níveis de processamento, ou seja, cinco produtos diferentes: *Basic 1B*, *Basic StereoPairs*, *Standard 2A*, *Ortho-Ready Standard (OR2A)* e *Orthorectified*.

Os primeiros três produtos têm a característica comum de poderem ser submetidos a um processamento geométrico por parte do utilizador, enquanto os outros já se encontram ortorrectificados pelo fornecedor.

- 1- *Basic 1B*: é o produto com menos processamento do WV2. Nestas imagens, cada linha é processada individualmente logo as imagens com várias linhas não se tratam de mosaicos. Este processo é feito através da junção de todos os pixéis provenientes dos vários sensores em linha, para uma matriz sintética de forma a formar uma única imagem.

Este tipo de produto tem aplicadas correcções radiométricas e de sensor, como por exemplo: geometria interna do sensor, distorção óptica, variações na taxa de digitalização, entre outras. Mas não tem aplicadas quaisquer correcções geométricas nem aplicada uma projecção cartográfica.

Por norma, com este tipo de produto são fornecidos vários arquivos, denominados de dados de suporte de imagem. Estes contêm informação do tipo:

- a. *Metadados*: informações relacionadas com a aquisição e processamento, qualidade da imagem, cobertura de nuvens, as coordenadas dos cantos, tamanho do pixel, ângulo de captação;
- b. *Parâmetros de atitude*: média e estimativa da covariância da atitude do sensor, calculada a cada 0.02 segundos a partir de pelo menos 4 segundos antes da captação e terminando pelo menos 4 segundos após captação da imagem;
- c. *Parâmetros de efemérides*: média e estimativa da covariância da posição do sensor, calculada a cada 0.02 segundos a partir de pelo menos 4 segundos antes da captação e terminando pelo menos 4 segundos após captação da imagem;
- d. *Modelo da câmara do sensor*: parâmetros fotogramétricos *standard* da câmara virtual que modela a imagem e o sistema óptico. Esta câmara modela todo o sistema como se fosse uma câmara em movimento contínuo, com um

único conjunto de sensores lineares de captação continua no plano focal, para cada banda espectral.

A partir deste tipo de produto, *Basic 1B*, é possível ortorrectificar as imagens pela aplicação de um modelo rigoroso da geometria do sensor que descreve a sua orientação externa e sua variação ao longo do intervalo de tempo de captura das linhas imagem;

- 2- *Basic StereoPairs*: é o produto mais adequado para utilizadores com um nível elevado de especialização e *software* de processamento de imagens. Com capacidade de processar e/ou exibir imagens estereoscópicas, sendo muito usado na extracção de objectos com características tridimensionais.

Este produto é composto por um ou mais pares de imagens básicas com 100% de sobreposição sobre a área de interesse. Os pares são adquiridos na mesma órbita do satélite e com ângulos de visão específicos, de modo a obter a estereoscopia desejada. Estas imagens estão disponíveis em pancromático e em 4 bandas multiespectrais.

Os *Basic StereoPairs* têm aplicadas correcções radiométricas e internas do sensor, e à semelhança do *Basic 1B*, não têm aplicadas quaisquer correcções geométricas nem aplicada uma projecção cartográfica. Aqui as imagens também são formadas pela junção de todos os pixéis dos sensores para uma matriz sintética. E o *Ground Sample Distance* (GSD) vai variando ao longo de todo o produto pois a atitude e efemérides mudam muito lentamente ao longo da captação;

- 3- *Standard 2A*: este tipo de produto tem as mesma correcções radiométricas e de sensor que os anteriores. Além disto, é geometricamente corrigido com os parâmetros de atitude, efemérides, entre outros, assim como é aplicada uma projecção cartográfica. A este produto é aplicado um MDE grosseiro, de modo a normalizar o relevo em relação ao elipsóide de referência, ou seja, projectar numa superfície de cota constante. Aqui o grau de normalização é relativamente pequeno, pois apesar de ter algumas correcções de terreno não se considera como um produto ortorrectificado.

As correcções radiométricas aplicadas a este produto incluem: resposta radiométrica relativa entre sensores, preenchimento no caso de não se ter resposta de um sensor e conversão para uma radiometria absoluta. Em termos de correcções de sensor, é feita uma correcção da geometria interna através da eliminação da distorção óptica, da distorção na digitalização, nas variações entre linhas e no registo das bandas pancromática e multiespectral. Também são feitas correcções geométricas, tais como

as distorções causadas pelo processo de aquisição da imagem, devido aos seguintes fatores: variações na altitude, atitude e velocidade do satélite, distorção panorâmica (originada pela variação do *Instantaneous Field Of View* - IFOV), curvatura da Terra, rotação da Terra, refração atmosférica e variações na velocidade de varredura do sensor.

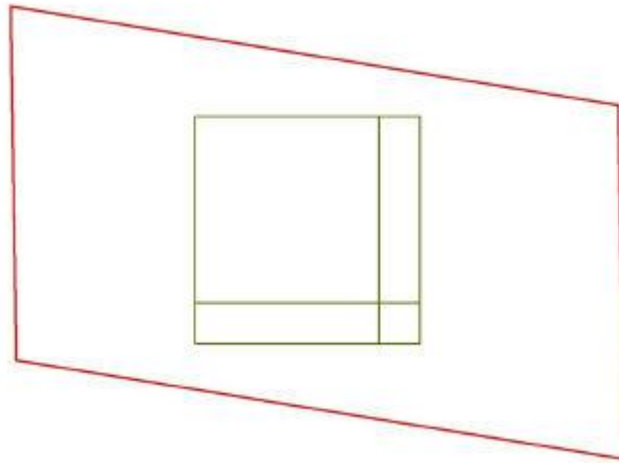


Figura 9 – Produto Basic1B (a vermelho) e produto Standard1A (a verde)
Fonte: [Digital Globe, 2012]

- 4- Ortho-Ready Standard (OR2A): este produto pode ser considerado como intermédio entre o *Basic 1B* e o *Standard 2A*, pois os dados originais foram submetidos ao mesmo tipo de processamento e correcções aplicadas aos produtos *Standard* mas as correcções geométricas foram aplicadas sem correcções de terreno, ou seja, não foi usado MDE. Assim é possível o utilizador fazer a correcção geométrica recorrendo a coeficientes polinomiais racionais (RPC's) e um MDE detalhado de modo a obter melhores precisões;
- 5- Orthorectified: são produtos prontos para uso em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e em inúmeras aplicações. Este tipo de produto tem todas as correcções radiométricas, de sensor, assim como geométricas. Está ortorrectificado com um MDE, assim como a projecção cartográfica e datum são os solicitados pelo utilizador. Também se poderá usar pontos de controlo (GCP's) para melhorar a precisão.

3.3.3 Orientação das imagens de satélite

Com o aparecimento dos sensores de alta resolução espacial, a possibilidade de mais facilmente identificar objectos de pequenas dimensões em centros urbanos, tornou-se uma realidade. Neste momento, a maioria dos satélites tem a capacidade de adquirir pares de imagens estereoscópicas, normalmente ao longo da sua trajetória (Along-

Track), com alta resolução. Exemplo disso é o WV2 com um GSD inferior a 0.5 metros nas suas imagens pancromáticas. Fazendo uso de sensores dispostos no plano focal ao longo de uma linha e operando em modo *Pushbroom*, pode recolher imagens com elevada estabilidade e fornece todos os dados importantes para o processo de correcção geométrica das imagens, como por exemplo: distância focal, ponto principal, dados orbitais, entre outros.

Com isto torna-se necessário aplicar diversas técnicas fotogramétricas para que se obtenham produtos cartográficos fiáveis provenientes dessas imagens de satélite. Tanto os dados auxiliares, quanto os metadados das imagens permitem minimizar os erros procedentes do posicionamento do satélite, dos movimentos e curvatura da Terra, falhas e/ou limitações dos sensores, entre outros. Em consequência desses efeitos a posição do pixel é alterada devido à descontinuidade na aquisição de cada elemento do terreno, o que por sua vez influencia a qualidade radiométrica das imagens. A minimização destes erros, é possível utilizando modelos matemáticos capazes de identificar e reduzir os efeitos relacionados tanto com a geometria como com a radiometria das imagens.

Assim sendo, é necessário utilizar um modelo geométrico que descreva a relação entre o espaço imagem e o espaço objecto, relacionando coordenadas tridimensionais do terreno (espaço objecto) e coordenadas bidimensionais da imagem (espaço imagem).

Existem vários modelos rigorosos que tentam descrever as propriedades físicas da imagem, estabelecendo a relação entre a imagem e o sistema de coordenadas no terreno. Sendo cada linha da imagem resultado de uma projecção em perspectiva, o modelo matemático baseado nas equações de colinearidade padrão é “adaptado” para incluir quatro características muito próprias dos sensores lineares do tipo *Pushbroom*:

1. *Orientação externa*: Tal como já foi referido anteriormente, o facto de os sensores fornecerem imagens que consistem na justaposição de linhas independentes, captadas em instantes diferentes e armazenadas umas ao lado das outras, depreende-se que cada linha é adquirida com um conjunto diferente de valores para a posição do sensor, para a sua atitude e velocidade. Estes valores estão relacionados entre si pelo factor vizinhança das linhas. As efemérides e os modelos orbitais rigorosos com base, nas leis mecânicas definidas por Newton e Kepler para uma órbita imperturbável e por Gauss e Lagrange para uma órbita perturbada, fornecem a orientação externa para cada linha de varredura. Mas normalmente esta informação não é suficiente e a orientação externa deve ser

melhorada com funções, dependentes do tempo, estimadas num ajustamento. Aqui os polinómios de terceira ordem de Lagrange, as funções quadráticas e partes de polinómios quadráticos são usados para este propósito;

2. *Sistema óptico*: Os sistemas ópticos de um satélite podem conter uma ou mais lentes. No caso de sistemas multi-lentes, são adicionados parâmetros de orientação relativa das lentes. O ângulo de visão é definido e fixo durante a aquisição das imagens para sensores síncronos como o caso do WV2, enquanto que para sensores assíncronos vai variando suavemente;
3. *Distorções das lentes*: Os possíveis erros provenientes das lentes têm sido estudados profundamente para a fotogrametria aérea e de satélite. As possíveis distorções são:
 - Deslocamento do ponto principal, sendo este modelado por mudanças constantes;
 - Alteração da distância focal;
 - Distorção radial da lente;
 - Variação da escala na direcção da linha CCD;
4. *Distorções na linha CCD*: Os erros geométricos que podem ocorrer nas linhas CCD são:
 - Alteração no tamanho do pixel, que tem efeitos na escala da imagem;
 - Deslocamento ou rotação dos segmentos CCD no plano focal em relação à sua posição nominal;
 - Deformação da linha CCD formando um arco, produzindo um erro perpendicular à direcção da linha CCD.

Muitos modelos ao longo dos anos têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados para efectuar o tratamento das imagens de satélite em termos de orientação. Diferentes abordagens têm sido aplicadas por diversos investigadores, para modelar todos estes aspectos e integrá-los nas equações de colinearidade. Assim, foi desenvolvido um modelo físico rigoroso genérico, que se trata de um sistema não-linear para corrigir as imagens, onde a solução é estimada por MMQ, incluindo uma serie de GCP's e pontos de ligação (Tie points).

Nos últimos anos, o modelo que se baseia em RPC's, que são fornecidos com os metadados das imagens, tornou-se na forma padrão para a aproximação dos modelos físicos rigorosos. Os 80 coeficientes polinomiais racionais fornecidos, são integrados em polinómios de terceira ordem que descrevem a relação entre a imagem normalizada e as coordenadas objecto incluindo implicitamente os parâmetros de posição do sensor, da atitude e da sua orientação interna. O modelo de RPC's não

tem interpretação física e é aplicável a todas as imagens, independentemente do sensor de aquisição das mesmas.

O modelo das funções racionais, que relaciona as coordenadas do espaço objeto com as coordenadas do espaço imagem através da razão entre duas funções polinomiais, é apresentado nas equações 1 e 2 [Grodecki, 2001; Toutin, 2004]:

$$\text{Linha } (X_n, Y_n, Z_n) = \frac{P1(X_n, Y_n, Z_n)}{P2(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (1)$$

$$\text{Coluna } (X_n, Y_n, Z_n) = \frac{P3(X_n, Y_n, Z_n)}{P4(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (2)$$

Onde:

- Linha (X_n, Y_n, Z_n) e Coluna (X_n, Y_n, Z_n) são as coordenadas normalizadas do espaço imagem;
- X_n, Y_n e Z_n são as coordenadas normalizadas do espaço objecto;
- $a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}$ e d_{ijk} são os coeficientes polinomiais racionais (RPC's).

Existem duas formas para estimar os coeficientes das funções racionais RPC's:

- Estimação dos coeficientes utilizando pontos de apoio no terreno;
- Estimação dos coeficientes a partir de uma *grid* 3D de pontos, gerada com o uso do modelo físico da câmara considerando planos de elevação constante. Os RCP's distribuídos pelas empresas ou agências são gerados através desta segunda alternativa com o uso, portanto, de modelos rigorosos, como aquele baseado na condição de colinearidade e considerando a geometria da órbita do satélite e o momento de captura da imagem.

É importante mencionar que neste trabalho se utilizou o modelo das funções racionais, através do fornecimento por parte do fabricante dos RPC's. Para melhorar a orientação das imagens, foram usados GCP's e *software* específico para este tipo de operações fotogramétricas, onde foi possível trabalhar com imagens estereoscópicas do WV2 fazendo os cálculos dos polinómios "*on the fly*".

3.4 Critérios de Avaliação e Classificação de Cartografia

Em teoria, para a análise da precisão de informação geográfica deve-se ter em conta conceitos como erro de graficismo, erro tolerável, escala da carta, entre outros.

Assim chama-se erro de graficismo (eg) ao raio do menor círculo, no interior do qual se pode marcar distintamente um ponto. Um dos factores que influencia este erro é a acuidade visual que a uma distância mínima permita uma visão distinta. Considerando uma distância de 25 cm, corresponde a um intervalo de cerca de 0.1 milímetros. A este valor temos ainda que adicionar as contribuições devidas a outros factores de erro, como por exemplo, os instrumentos usados no desenho gráfico e a habilidade dos técnicos. Após várias experiências efectuadas com diferentes operadores numa variedade de situações, convencionou-se que se adopte o valor de 0.2 milímetros para o erro de graficismo, valor prático usado. [Ferreira, 2009].

Associado ao erro de graficismo temos o erro tolerável (et), que é a menor distância no terreno que pode ser medida num mapa ou carta. Para uma determinada escala, devemos garantir que as metodologias de trabalho não geram erros superiores ao et . As expressões que relacionam ambos os erros são:

$$E = 1 / N \quad (3)$$

$$et = eg * N \quad (4)$$

Onde:

- E representa a escala e N representa o denominador da escala;
- eg representa o erro de graficismo e et o erro tolerável.

Assim para a escala pretendida, 1:25 000, teremos que garantir que as metodologias de trabalho não geram erros superiores a 5 metros em planimetria e em termos de altimetria, consideramos uma tolerância de $\frac{1}{2}$ da equidistância natural (10 metros), ou seja, não ultrapasse 5 metros.

Para a realização deste projecto, e dada a relevância do IGeoE na produção de informação geográfica, foram aplicadas diversas metodologias e usados dois métodos diferentes para avaliar a exactidão posicional da informação produzida. Foram consultadas várias normas de produção de cartografia na busca de indicadores estatísticos e critérios de avaliação da qualidade geométrica das cartas.

Assim, devido à natureza militar da instituição, foi usado um documento de referência designado por STANAG 2215, que define a forma de classificação da cartografia produzida no âmbito da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) quanto à qualidade. Adicionalmente, resolveu-se aplicar as especificações técnicas para a execução de cartografia numérica à escala 1:10 000 da Direcção Geral do Território (DGT), autoridade nacional de cartografia, mais precisamente o Erro Médio Quadrático (EMQ) tolerável.

3.4.1 STANAG 2215

Sendo Portugal membro fundador da NATO, em 1989 através do IGeoE ratificou o *Standardization Agreement 2215* (STANAG), 5ª Edição, de 18 de Dezembro de 1989 – *Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data*.

O STANAG 2215, tem como objectivo a uniformização do sistema de avaliação de mapas terrestres, cartas aeronáuticas e informação geográfica digital, a serem utilizadas pelas Forças Armadas da NATO. Desde 1989, já foram introduzidas bastantes alterações ao documento, sendo uma das mais importantes a introdução de uma parte estatística, através do Teste do Qui-Quadrado, em Outubro de 2001.

A avaliação de dados geográficos, em forma analógica ou digital, para fins militares compreende a análise individual de cada um dos seguintes aspectos:

- Precisão absoluta geométrica em termos de Datum WGS84;
- Precisão Horizontal (ou planimétrica);
- Precisão Vertical (ou altimétrica);
- Estado de actualização;
- Data efectiva da informação.

Assim, o controlo de qualidade posicional foi executado de acordo com as normas estabelecidas no STANAG 2215, que estabelece os critérios de avaliação e classificação da cartografia (digital e analógica) produzida, no âmbito militar.

3.4.1.1 Métodos de classificação

A classificação de uma carta, em suporte analógico ou digital, é feita por um código alfanumérico de 5 grupos (e.g. EB2R77).

A 1ª letra classifica a precisão geométrica absoluta em termos de WGS84, de acordo com a Tabela 2. Esta precisão, quer de produtos gráficos, quer de produtos digitais é

determinada pela combinação das precisões absolutas horizontais e verticais determinadas relativamente ao datum WGS84. De referir que mais à frente, nos próximos pontos irão ser explicados em pormenor os critérios dessas precisões.

Tabela 2 – Critério de atribuição de classificação em termos de precisão geométrica absoluta

Classificação	Classificação Horizontal e Vertical em termos WGS84	
	Classificação CMAS Tabela 2	Classificação LMAS Tabela 3
A	A	0
B	B	1
C	C	2
D	D	3
E	Produto não referenciado em WGS84	

A 2ª letra classifica a precisão horizontal absoluta (CMAS), de acordo com a Tabela 3. A precisão horizontal absoluta é determinada para objectos bem definidos fazendo a comparação da posição da representação na carta com a posição real medida no terreno, através do erro circular.

Tabela 3 – Critério de atribuição de classificação em termos de precisão horizontal absoluta

Classificação	Medida à Escala do Produto	Escala ou Resolução Digital Equivalente				
		1:25000	1:50000	1:100000	1:200000	1:250000
A	0.5mm	12.5 m	25 m	50 m	100 m	125 m
B	1.0mm	25 m	50 m	100 m	200 m	250 m
C	2.0mm	50 m	100 m	200 m	400 m	500 m
D	>2.0mm	Classificação pior que C				
E		Não determinado				

O 1º número que aparece no código, reflecte a precisão vertical absoluta (LMAS), de acordo com a Tabela 4. A precisão vertical absoluta é determinada pela comparação das altitudes determinadas nas cartas e/ou modelo digital de elevação com as altitudes reais medidas no terreno relativamente ao datum vertical da carta, através do erro linear.

Tabela 4 – Critério de atribuição de classificação em termos de precisão vertical absoluta

Classificação	Escala ou Resolução Digital Equivalente				
	1:25000	1:50000	1:100000	1:200000	1:250000
0	2.5 m	5 m	10 m	20 m	25 m
1	5 m	10 m	20 m	40 m	50 m
2	10 m	20 m	40 m	80 m	100 m
3	Classificação pior que 2				
4	Não determinado				

A 3ª letra reflecte o estado de actualização, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Critério de atribuição de classificação em termos de actualização

Letra	Grau de Actualização
M	Produto que corresponde aos critérios de actualização
R	Produto que não corresponde aos critérios de actualização e para o qual é necessário acções de manutenção e actualização
X	Não determinado

O último grupo de dois dígitos traduz a data efectiva da informação (e.g.88 – significa que a informação está correcta até 1988).

3.4.1.2 Critérios de classificação

De modo a calcular a exactidão posicional com um nível de confiança de 90%, é necessário que a amostra tenha uma dimensão mínima de 167 pontos. O que permite ter 166 graus de liberdade. Assim a amostragem tem que ser representativa do produto em análise, pelo que no planeamento houve o cuidado de escolher pontos distribuídos pelas 9 zonas em análise.

3.4.1.2.1 Precisão Horizontal

- Erro circular

A teoria do Erro Circular considera que quando uma carta é produzida e os objectos são implantados, existe uma determinada percentagem de erro nos eixos dos Estes (E) e Nortes (N), e que se pode materializar num círculo com determinado raio. O raio é calculado com base na probabilidade dada pelo grau de confiança da posição de referência se encontrar dentro do círculo. Assim o desvio padrão circular das diferenças medidas (σ_{CM}) pode ser calculado a partir do desvio padrão linear em E e N:

$$\sigma_{CM} = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}} \quad (5)$$

$$\sigma_{CM} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{\sum (\delta E_i - \overline{\delta E})^2 + \sum (\delta N_i - \overline{\delta N})^2}{n - 1} \right]} \quad (6)$$

onde:

- δE_i e δN_i são as diferenças individuais dos pontos medidos e os pontos verdadeiros/referência, ou seja, os pontos levantados no terreno. A convenção de sinal é “medido”-“referência”;

- $\overline{\delta E}$ e $\overline{\delta N}$ são as médias de todos os valores de δE_i e δN_i , respectivamente;

-
- n é o número de pontos de controlo.

Quando não são conhecidos erros significativos de σ_{CM} , este pode ser tomado como igual ao desvio padrão circular (σ_C).

- Precisão Horizontal Absoluta (CMAS)

De modo a se conseguir determinar a classificação em termos de precisão horizontal absoluta, constante na Tabela 3, é necessário calcular a CMAS.

Se não existirem erros sistemáticos, ou seja, $\overline{\delta E}$ e $\overline{\delta N}$ não diferem muito de zero, poder-se-á usar a seguinte formula:

$$CMAS = 2.146 * \sigma_C \quad (7)$$

Quando existirem erros sistemáticos, dever-se-á usar a seguinte formula:

$$CMAS = \sigma_C * \left[1.2943 + \sqrt{\left(\frac{d}{\sigma_C} \right)^2 + 0.7254} \right] \quad (8)$$

onde d é o vector médio de erro:

$$d = \sqrt{(\overline{\delta E})^2 + (\overline{\delta N})^2} \quad (9)$$

3.4.1.2.2 Precisão Vertical

- Erro linear

O desvio padrão linear das diferenças entre os pontos medidos e os pontos verdadeiros, σ_M é calculado por:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{\sum (\delta H_i - \overline{\delta H})^2}{n - 1}} \quad (10)$$

em que:

- δH_i são as diferenças individuais entre as alturas medidas e as verdadeiras para cada ponto;

- $\overline{\delta H}$ é a média aritmética de todos os valores de δH_i ;
- n é o número de pontos de controlo.

Para se calcular o desvio padrão dos erros, em termos verticais, poder-se-á utilizar a seguinte formula:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_M^2 - \sigma_R^2} \quad (11)$$

onde:

- σ_M é o desvio padrão linear das diferenças entre as alturas medidas e as de referência para cada ponto;
- σ_R é o desvio padrão linear dos erros nas medições de referência para cada ponto.

- Precisão Vertical Absoluta (LMAS)

De modo a se conseguir determinar a classificação em termos de precisão vertical absoluta, constante na Tabela 4, é necessário calcular a LMAS.

Se não existirem erros sistemáticos, ou seja, $|\overline{\delta H}|$ não difere muito de zero, poder-se-á usar a seguinte formula:

$$LMAS = 1.645 * \sigma \quad (12)$$

Quando existirem erros sistemáticos, dever-se-á usar a seguinte formula:

$$LMAS = \sigma * \left[1.645 + 0.92 * \left(\frac{b}{\sigma} \right)^2 - 0.28 * \left(\frac{b}{\sigma} \right)^3 \right] \quad (13)$$

onde b é uma quantidade intermedia, calculada pela seguinte formula:

$$b = |\overline{\delta H}| \quad (14)$$

Caso $b > 1.4 * \sigma$, então dever-se-á usar a seguinte formula:

$$LMAS = \sigma * \left[1.282 * \left(\frac{b}{\sigma} \right) \right] \quad (15)$$

3.4.1.3 Detecção de outliers

Como a precisão final só é válida se os erros grosseiros forem removidos, estes vão ser detectados através de testes estatísticos aos resíduos obtidos. Assim um resíduo é considerado um potencial *outlier* (não é parte representativa dos dados obtidos) se o valor absoluto do resíduo é maior que um determinado valor definido. Este valor é o desvio padrão das observações multiplicado por um factor estatístico, M. Deste modo os *outliers* são removidos antes de se fazer o teste à precisão. Contudo antes de remover o potencial *outlier* é feita uma investigação à causa do erro e se possível este é corrigido. O processo de detecção de *outliers* é repetido até que não haja mais *outliers*. O cálculo dos resíduos, R, e do factor de teste, M, é feita com base nas seguintes fórmulas:

- Teste Linear

$$R = (\delta x_i - \bar{\delta x}) \quad (16)$$

$$|R| > M_1 \times \sigma_x \quad (17)$$

R é um potencial *outlier* se a equação 17 for verdadeira. Neste caso x pode representar os Estes, os Nortes ou a Altitude. Para amostras grandes considera-se $M_1 = 3$, que corresponde à probabilidade de erro de 99.73%, mas para amostras menores é mais prático considerar:

$$M_1 = 1.9423 + 0.5604 \times \log_{10} \nu \quad (18)$$

em que ν é igual a (n -1) graus liberdade.

- Teste Circular

$$R = \sqrt{(\delta E_i - \bar{\delta E})^2 + (\delta N_i - \bar{\delta N})^2} \quad (19)$$

R é um potencial *outlier* se:

$$|R| > M_2 \times \sigma_c \quad (20)$$

Para amostras grandes considera-se $M_2 = 3,5$, correspondente à probabilidade de erro de 99,78%, mas para amostras pequenas é mais prático considerar:

$$M_2 = \sqrt{2.5055 + 4.6052 \times \log_{10} v} \quad (21)$$

em que v é igual a $(n - 1)$ graus liberdade.

3.4.2 Erro Médio Quadrático

Como complemento à aplicação das normas militares STANAG 2215, resolveu-se fazer também a verificação empregando as normas para a cartografia 1:10 000 da DGT. Mais concretamente verificando a exactidão posicional planimétrica e altimétrica através do cálculo do EMQ das diferenças.

De acordo com as normas, os parâmetros a serem verificados deverão ser coordenados no terreno, por métodos directos com GNSS ou outros igualmente rigorosos e deverão ser verificadas as discrepâncias para efeitos do cálculo da exactidão posicional.

A fórmula a usar no cálculo do EMQ para a planimetria é a seguinte:

$$EMQ_{XY} = \sqrt{\frac{\sum ((X_C - X_R)^2 + (Y_C - Y_R)^2)}{n}} \quad (22)$$

Em que:

- X_C, Y_C são as coordenadas planimétricas obtidas na campanha de campo;
- X_R, Y_R são as coordenadas planimétricas do mesmo ponto na restituição;
- n é o número de pontos de controlo.

A fórmula a usar no cálculo do EMQ para a altimetria é a seguinte:

$$EMQ_Z = \sqrt{\frac{\sum (Z_C - Z_R)^2}{n}} \quad (23)$$

Em que:

- Z_C é a coordenada altimétrica obtida na campanha de campo;
- Z_R é a coordenada altimétrica do mesmo ponto na restituição;

-
- n é o número de pontos de controlo.

No caso das normas da DGT, as especificações técnicas para a execução de cartografia numérica à escala 1:10 000, estabelecem o EMQ máximo admissível para o modelo numérico topográfico. Assim, para os elementos obtidos por processos fotogramétricos o EMQ para a planimetria é de 1.7 metros, e 90% da amostra significativa, deve apresentar discrepâncias inferiores a 2.3 metros. Para a altimetria o valor máximo do EMQ é de 2 metros e 90% da amostra significativa deve ter erro inferior a 3 metros. Assim, os valores definidos para 90% da amostra, foram os valores de referência para a validação executada neste projecto e explicada mais detalhadamente no ponto 5.3 e 5.4.

3.5 Modelos Digitais de Elevação

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) consistem num conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permitem associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à altitude [Matos, 2008].

Os modelos digitais de elevação descrevem o relevo da superfície terrestre, existindo diferentes designações consoante o tipo de MDE (Figura 10). Assim existe:

- MDT: Modelo Digital de Terreno
- MDS: Modelo Digital de Superfície

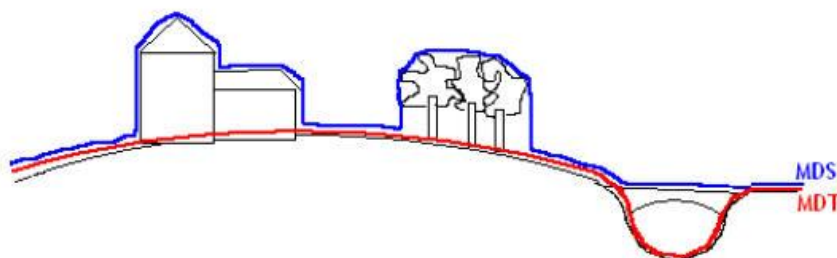


Figura 10 – Diferença entre MDT (a vermelho) e MDS (a azul)
Fonte: [Redweik, 2012]

O MDT representa o comportamento da superfície terrestre numa dada região, sendo obtido através de dados que representam directamente o terreno, contrariamente ao MDS que contém não só informações da morfologia do terreno como também envolve a cota superior dos objectos existentes acima da superfície, como edificações, vegetação, entre outros.

Os modelos digitais podem ser representados por equações analíticas ou por redes de pontos, de modo a transmitirem as características espaciais do terreno. O processo de geração de um modelo de elevação envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajustamento com o objectivo de se obter uma representação contínua a partir das amostras de dados [Câmara, *et al.*, 2007].

Considera-se que existem cinco modelos espaciais diferentes, os quais assentam em suposições distintas acerca da forma como a realidade pode ser representada e, por sua vez, na forma como cada um deles pode ser manipulado matematicamente: modelos matriciais, modelos de triângulos, modelos de isolinhas, modelos pontuais regulares e modelos pontuais irregulares.

Estas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos dados sendo as mais utilizadas a malha triangular (TIN) ou a malha regular de pontos (GRID).

3.5.1 *Triangulated Irregular Network*

O processo de construção de MDE mais comum é baseado na triangulação de um conjunto de pontos cotados com distribuição irregular, sendo a superfície modelada por um conjunto de faces triangulares. A altitude de qualquer ponto abrangido pelo modelo é definida pela altitude do ponto na face triangular em que se insere, o que corresponde a uma interpolação bilinear dentro de cada triângulo.

A superfície assim gerada (Figura 11), designada por rede irregular triangulada (TIN- *Triangulated Irregular Network*), é por si só um MDE e, também, um suporte habitual para a construção de modelos com outro tipo de estrutura, como é o caso dos modelos matriciais. Conforme o método adoptado para a construção da TIN, a configuração da rede de triângulos adjacentes unindo todos os pontos de um conjunto será diferente.

Existem vários métodos para a construção de uma TIN, sendo o mais utilizado a triangulação de *Delaunay* - os triângulos são definidos de tal modo que o círculo que passa pelos três vértices de qualquer um dos triângulos não contém nenhum outro ponto da amostra no seu interior e o ângulo mínimo no interior dos triângulos é maximizado, evitando triângulos longos e finos. [Redweik, 2012]

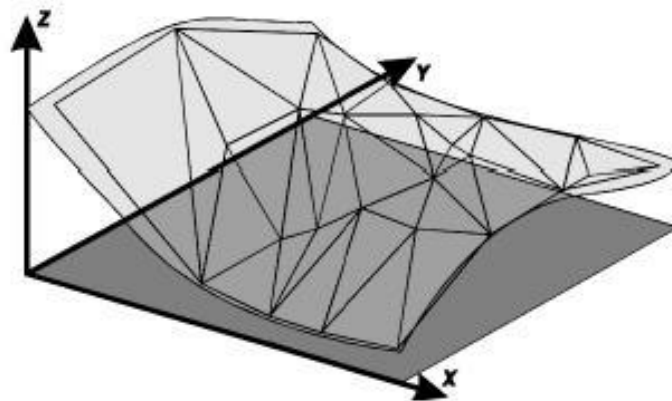


Figura 11 – Exemplo de uma superfície e da TIN correspondente
Fonte: [Câmara *et al.*, 2001]

3.5.2 Malha regular de pontos

A malha regular de pontos (GRID) é uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico. Trata-se de modelos digitais com uma estrutura matricial que aproximam superfícies através de poliedros de faces rectangulares, ou seja, armazena uma amostra de pontos com uma origem comum e uma distância de amostragem constante nas direcções x e y. Assim, cada ponto da malha, indicado por linha e coluna da matriz, possui um valor de elevação z [Martins, 2010].

Para a geração da GRID (Figura 12) é necessário estimar, através de interpoladores matemáticos, os valores de cota para as células que não os possuem, considerando-se a vizinhança de medidas de elevação conhecidas [Câmara *et al.*, 2001].

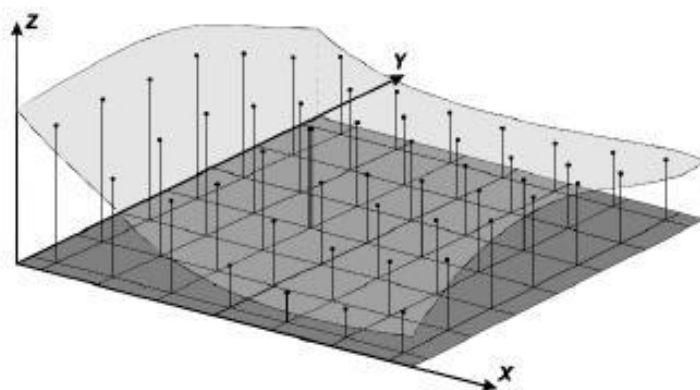


Figura 12 – Exemplo de uma superfície e da GRID correspondente
Fonte: [Câmara *et al.*, 2001]

4 Material e métodos

4.1 Caracterização da Área de Estudo

A área do projecto está situada na região de Sintra, distrito de Lisboa (Figura 13). Esta escolha deveu-se à disponibilidade das imagens estereoscópicas WV2 fornecidas coincidir com esta zona bem como pela facilidade no deslocamento e acesso à área.

É uma região com grande variação de relevo, destacando-se o ponto mais alto situado a 528 metros de altitude e o ponto mais ocidental do Continente Europeu, o Cabo da Roca, situado a 140 metros acima do nível do mar.



Figura 13 – Área de estudo

4.2 Material usado no projecto

4.2.1 Imagens de satélite

O par de imagens estereoscópicas WV2 usado neste projecto foi recolhido no dia 16 Dezembro de 2009 na região de Sintra, com o número de identificação 13EUSI-0192-01_052915874101_01. As imagens têm um tamanho aproximado de 10 *km* largura por 18 *km* de comprimento.

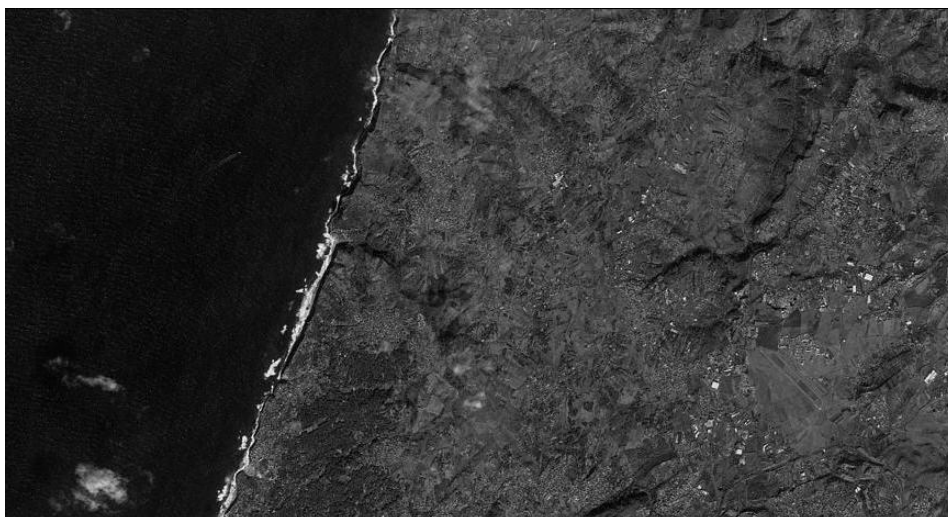


Figura 14 – Imagem WV2 09DEC16115238

O conjunto de imagens fornecidas, trata-se de um produto *Basic StereoPair* pancromático, em que a imagem com designação: 09DEC16115238 corresponde à da esquerda (Figura 14) e a imagem 09DEC16115347 à da direita. Ambas as imagens foram adquiridas segundo o modo de aquisição do tipo “*FullSwath*” e direcção de scan “*Forward*”. Na Tabela 6, apresentam-se as principais características de ambas as imagens.

Tabela 6 – Características das imagens de satélite

Imagem 09DEC16115238	Imagem 09DEC16115347
<ul style="list-style-type: none"> - Número de linhas = 19024 - Número de colunas = 35180 - GSD médio das linhas = 0.531 m - GSD medio das colunas = 0.57 m - GSD médio da imagem = 0.55 m - Azimute médio do Sol = 169.5° - Elevação média do Sol = 27.3° - Azimute médio do Satélite = 300° - Elevação média do Satélite = 62.5° - Ângulo médio In-track = 6.8° - Ângulo médio Cross-track = -23.5° - Ângulo médio Off-nadir = 24.4° 	<ul style="list-style-type: none"> - Número de linhas = 18296 - Número de colunas = 35180 - GSD médio das linhas = 0.599 m - GSD medio das colunas = 0.692 m - GSD médio da imagem = 0.647 m - Azimute médio do Sol = 169.8° - Elevação média do Sol = 27.3° - Azimute médio do Satélite = 238.7° - Elevação média do Satélite = 52.4° - Ângulo médio In-track = -22.4° - Ângulo médio Cross-track = -24.7° - Ângulo médio Off-nadir = 32.8°
Ficheiros fornecidos com as imagens: 09DEC16115238-P1BS-052915874010_01_P001.IMD; 09DEC16115238-P1BS-052915874010_01_P001.EPH; 09DEC16115238-P1BS-052915874010_01_P001.ATT; 09DEC16115238-P1BS-052915874010_01_P001.TIL; 09DEC16115238-P1BS-052915874010_01_P001.GEO; 09DEC16115238-P1BS-052915874010_01_P001.STE; 09DEC16115238-P1BS-052915874010_01_P001.RPB;	Ficheiros fornecidos com as imagens: 09DEC16115347-P1BS-052915874010_01_P001.IMD; 09DEC16115347-P1BS-052915874010_01_P001.EPH; 09DEC16115347-P1BS-052915874010_01_P001.ATT; 09DEC16115347-P1BS-052915874010_01_P001.TIL; 09DEC16115347-P1BS-052915874010_01_P001.GEO; 09DEC16115347-P1BS-052915874010_01_P001.STE; 09DEC16115347-P1BS-052915874010_01_P001.RPB;

4.2.2 Campanhas de campo

Para a elaboração das três campanhas de campo efectuadas, foi disponibilizado pelo IGeoE, equipamento GNSS da Trimble assim como a estação *Total Station Positioning System* (TPS) da Leica.

A primeira campanha de campo foi efectuada com o objectivo de recolher GCP's para melhorar a orientação das imagens de satélite. Para isto foi utilizado o equipamento GNSS Trimble R8, ligado à rede SERVIR com observações em modo RTK com 180 épocas de observação por GCP.

A segunda campanha de campo, serviu para recolher o máximo de pontos de controlo possível, nas 9 áreas de trabalho, de modo a fazer a validação da restituição efectuada. Para isto foi utilizada a estação TPS, tendo esta sido orientada por intersecção inversa com recurso a pontos GNSS levantados no momento em modo RTK com correcções da rede SERVIR.

A terceira campanha de campo, foi efectuada com o equipamento GNSS Trimble R8 em modo RTK com ligação à rede SERVIR. Nesta situação o registo de pontos foi efectuado de 100 em 100 metros com a viatura em movimento, com 1 época de observação por ponto registado, de modo a recolher uma grande quantidade de pontos ao longo do deslocamento para fazer a validação do MDS.

Em cada posição foi tirada uma fotografia com o equipamento de observação estacionado para inclusão no devido croqui, de modo a completar uma base de dados acerca de todo o trabalho efectuado nas campanhas de campo.

Nas Tabela 7 e Tabela 8 apresentam-se as precisões associadas a cada aparelho utilizado, retiradas do manual do respectivo equipamento.

Tabela 7 – Precisão do equipamento GNSS

Fabricante			Trimble
Designação			R8
Receptor			GNSS
Precisão	Estático	Horizontal	3 mm +0,1 ppm
		Vertical	3.5 mm + 0,4 ppm
	Móvel	Horizontal	10 mm + 1 ppm
		Vertical	20 mm + 1 ppm
Controlador			TSC2



Figura 15 – Equipamento GNSS

Tabela 8 – Precisão do equipamento TPS

Fabricante	Leica		
Designação	TPS 1200	EDM	
		IR	RL
Alcance	EDM	1.5 a 2000 m	1.5 a 760 m
Precisão	1"	2 mm + 2 ppm	3 mm + 2 ppm
Componentes	Prisma 360°	PinPoint	
	Controlador RX1200		
	RadioHandle		
	EDM		



Figura 16 – Equipamento TPS

Na Figura 17, pode-se verificar a operação e orientação da estação TPS. Em que inicialmente são levantados dois pontos de orientação por ligação à rede SERVIR e através destes é feita uma intersecção inversa. Após a orientação da estação iniciou-se o levantamento de todos os pontos pretendidos naquele local.



Figura 17 – Orientação estação TPS

Em termos de material auxiliar, foi utilizado o descrito na Tabela 9.

Tabela 9 – Material auxiliar

Descrição	Objectivo
<i>Cartas topográficas n.º416 e n.º402</i>	Planeamento e execução das campanhas de campo
<i>GNSS navegação AvMap</i>	Navegação durante campanhas de campo
<i>Telemovel com bluetooth</i>	Ligação à rede SERVIR
<i>Jeep Toyota Land Cruiser</i>	Deslocamento na 1ª e 2ª campanha de campo
<i>Jeep Nissan Xtrail</i>	Deslocamento na 3ª campanha de campo
<i>Máquina fotográfica Sony DSC-W520</i>	Registo fotográfico de pontos
<i>Escadas articuladas</i>	Permitir acesso a pontos de difícil acesso
<i>Fita métrica</i>	Medição da altura da antena ao solo

4.2.3 Processamento em gabinete

Em termos de *software*, foram usados os descritos na Tabela 10:

Tabela 10 – Software utilizado

Descrição	Objectivo
<i>Google Earth</i>	Planeamento das campanhas de campo
<i>Leica Geo Office versão 2 (LGO)</i>	Processamento de dados de campo
<i>Trimble Geomatics Office (TGO)</i>	Processamento de dados de campo
<i>Photomod Lite Version 5</i>	Restituição fotogramétrica; Correlação automática de pontos
<i>Esri ArcGis Desktop 10</i>	Tratamento e extracção de dados; Geração de MDE
<i>Microsoft Office Excel 2007</i>	Análise de dados

4.3 Metodologia

A metodologia adoptada para a concretização do objectivo proposto está esquematizada na Figura 18. Cada uma das fases é abordada individualmente no decorrer do documento, sendo importante referir que a intenção inicial foi realizar todas as tarefas de acordo com os procedimentos adoptados na cadeia de produção do IGeoE, tal como é feito actualmente, fazendo uso, dentro dos possíveis, do mesmo *software*.

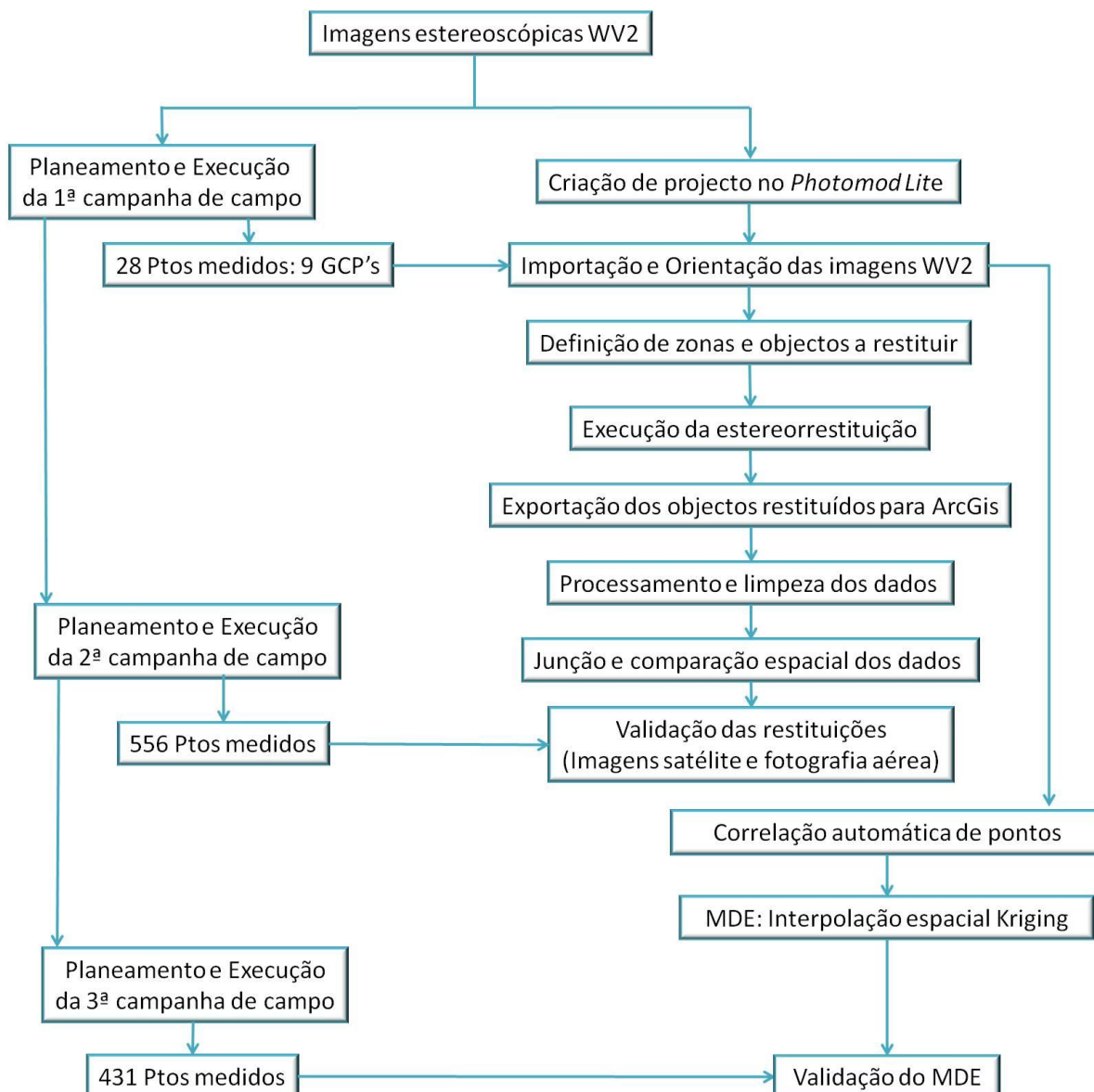


Figura 18 – Esquema com metodologia executada no projecto

De modo muito simplificado, a metodologia foi adoptada de acordo com os seguintes passos:

- Recepção e estudo de toda a informação referente às imagens de satélite WV2;
- Planeamento e execução da primeira campanha de campo para obtenção de GCP's de modo a melhorar a orientação das imagens;
- Criação de projecto numa estação fotogramétrica, com modelo geométrico WV2 implementado;
- Importação e orientação das imagens de satélite;
- Definição das zonas e objectos a restituir;
- Execução da estereorrestituição por operador experiente e de acordo com restituição executada no IGeoE em 2008;

-
- Exportação dos objectos restituídos para *software ArcGis* para processamento e limpeza de dados, de acordo com a verificação de concordância entre dados restituídos por imagem de satélite e dados restituídos por fotografia aérea;
 - Extracção de coordenadas dos vértices dos polígonos restituídos a partir de imagem de satélite e coordenadas homólogas das fotografias aéreas;
 - Comparação espacial e estatística dos dados em *Excel*;
 - Planeamento e execução da segunda campanha de campo para obtenção do máximo de pontos para fazer a validação das restituições;
 - Controle da precisão geométrica dos dados provenientes da restituição a partir de imagem de satélite assim como da restituição a partir de fotografia aérea;
 - Correlação automática de pontos entre imagens de satélite e exportação dos mesmos para *ArcGis* de modo a se gerar o MDE;
 - Execução de uma interpolação espacial, através do método *kriging* para geração de MDE;
 - Planeamento e execução da terceira campanha de campo para obtenção de pontos altimétricos de modo a se fazer a validação do MDE;
 - Controlo da precisão do MDE.

5 Execução do Projecto

Todo o processo fotogramétrico executado no par estereoscópico WV2, foi realizado numa estação fotogramétrica usando o *software Photomod Lite*. Seja para medição dos GCP's e *Tie Points* como para a restituição e extracção automática dos dados.

5.1 1ª Fase – Aquisição de dados

Este processo foi iniciado com a recepção das imagens estereoscópicas WV2, correspondentes à área anteriormente descrita. As imagens, gentilmente cedidas pela *InforGeo*, que estava previsto serem processadas inicialmente, eram imagens do tipo *Standard2A* com uma dimensão aproximada de 6 *km* de largura por 5 *km* de comprimento. Estas foram as imagens usadas para efectuar o planeamento da primeira campanha de campo (Figura 19), cujo objectivo seria obter pontos fotogramétricos (GCP's) espalhados por toda a área das imagens, de modo a melhorar a orientação das mesmas aquando do processamento na estação fotogramétrica. Assim, foi planeada uma campanha de dois dias, em que foram medidos 28 pontos em modo RTK com 180 épocas de observação, com correcções fornecidas pela rede SERVIR. O processamento destes pontos foi efectuado com o TGO, tendo sido gerados os respectivos relatórios com o *software ArcGis*. (Anexo A- Relatórios das Campanhas de Campo)

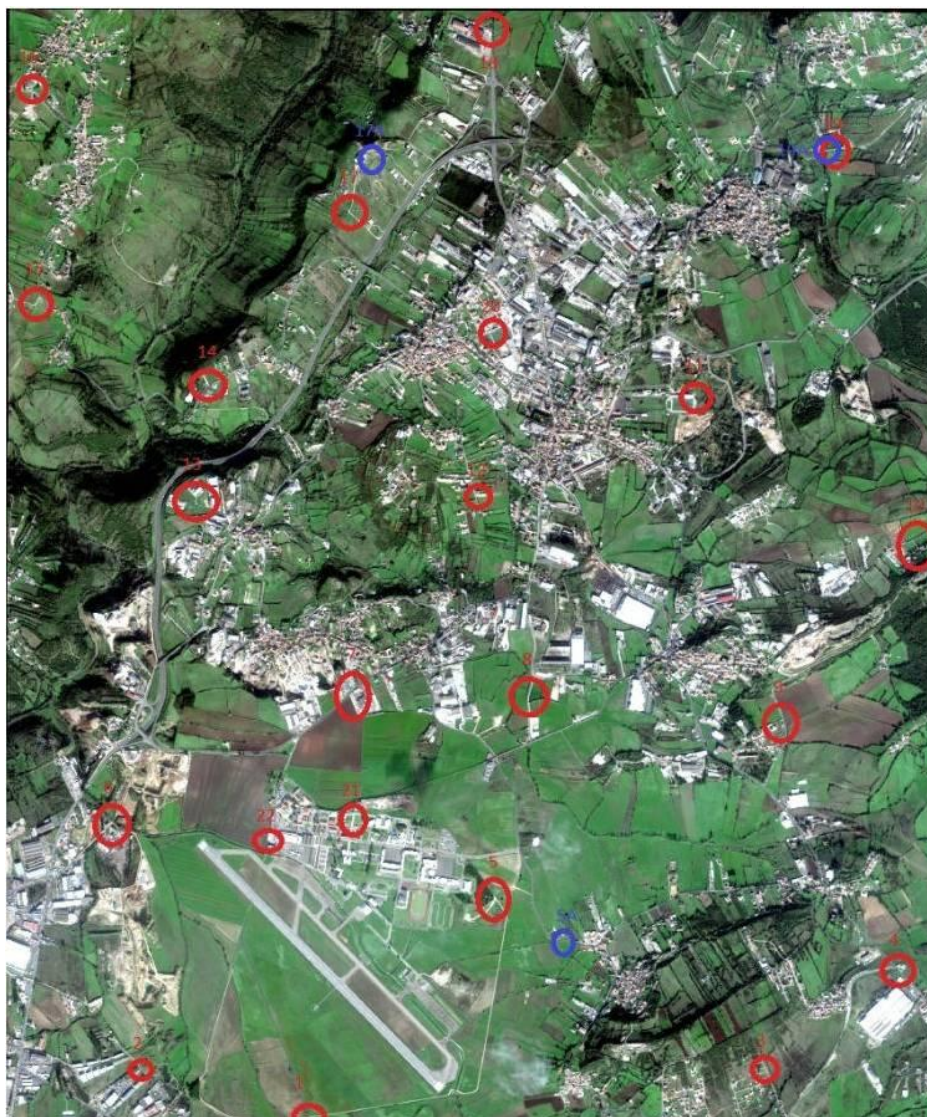


Figura 19 – Planeamento da 1ª campanha de campo

A partir daqui, foram feitas diversas tentativas e procedimentos para trabalhar as imagens de satélite com o *software* actualmente usado pelo IGeoE, o *DATUM Summit Evolution 6.4*. Após a criação de um projecto e importação das imagens de satélite, várias tentativas foram efectuadas para melhorar a orientação das imagens com os GCP's medidos no campo. Contudo, esta tarefa revelou-se infrutífera pois o *software* apesar de trabalhar com imagens de satélite, não integra a geometria interna do satélite WV2, consequentemente a sua orientação é genérica, não produzindo bons resultados. Exemplo disso, era a discrepância encontrada nas coordenadas (cerca de 20 metros em planimetria) assim como a inclinação, exagerada, detectada nas imagens em estereoscopia.

Após mais alguma investigação, chegou-se à conclusão que as imagens *Standard2A* (Figura 20) não seriam indicadas para fazer estereorrestituição pois, tal como já foi referido anteriormente, vêm com correcções geométricas aplicadas para um

determinado MDE. Assim, houve necessidade de fazer novo pedido de imagens da mesma área mas do tipo *Basic Stereo Pair* (Figura 21), o que foi prontamente disponibilizado mas tendo, no entanto, demorado cerca de 2 a 3 meses devido à necessidade de efectuar novo processamento por parte do fornecedor.



Figura 20 – Imagem WV2 *Standard2A* – Zona de Sintra

Quando as imagens *Basic Stereo Pair* chegaram juntamente com os respectivos ficheiros de metadados, constatou-se que as novas imagens cobriam uma extensão maior que as primeiras. Ou seja, estas tinham um tamanho aproximado de 10 km de largura por 18 km de comprimento. Esta questão tornou-se pertinente pelo facto, de que a campanha de campo para obter GCP's ter sido planeada com base na imagem menor (*Standard2A*), o que poderia influenciar todo o processo de orientação das imagens.

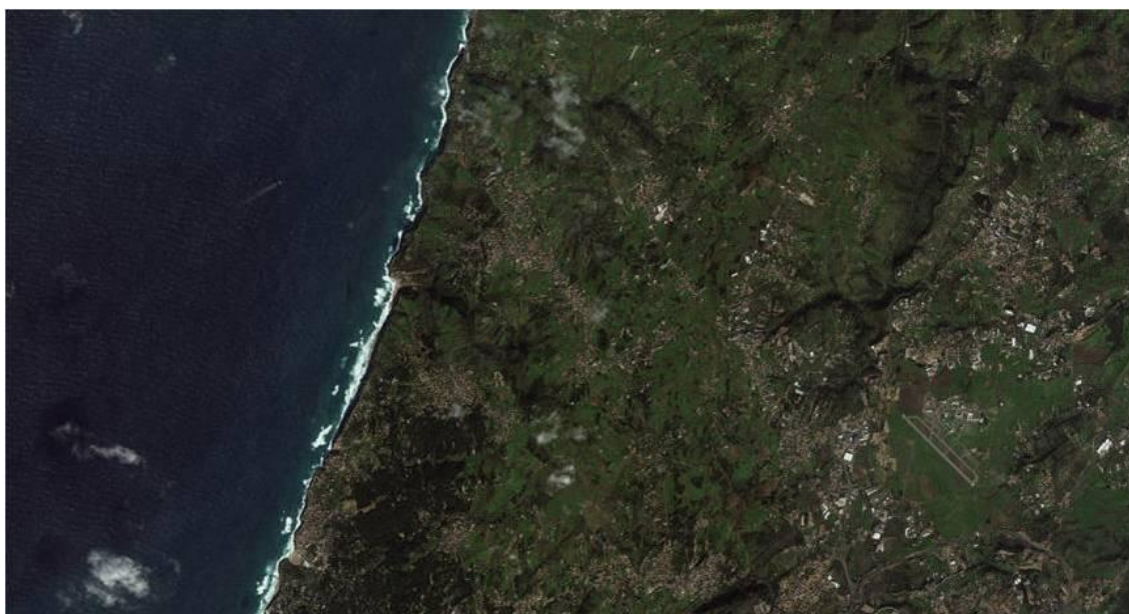


Figura 21 – Imagem WV2 *Basic StereoPair* – Zona de Sintra

Ainda assim mais uma tentativa foi feita com o *software* usado pelo IGeoE, em que mais uma vez os resultados foram desanimadores pois apesar da orientação ter melhorado, a questão da inclinação exagerada mantinha-se. Nesta situação, contactos foram efectuados para se fazer um *upgrade* na versão do *DATEM Summit Evolution* de modo a que o *software* permitisse a introdução de ficheiros próprios para orientação das imagens de satélite, tais como, os ficheiros de efemérides e de atitude. Apesar de ter sido concedida uma licença provisória da versão mais completa do *software*, após diversas tentativas, chegou-se à conclusão de que este *software* não seria o mais indicado para o efeito pois não tinha a possibilidade de simular a geometria externa do WV2 e consequentemente a orientação das imagens seria sempre aquém das expectativas e nada adequada ao objectivo proposto.

Posto isto, teve que se optar por outro *software*, o *Photomod Lite* que é uma versão gratuita mas que permita projectos de imagens de satélite contemplando imagens do WV2, assim como a sua geometria interna. A grande limitação desta versão gratuita reside no facto de apenas permitir carregar duas imagens, o que no presente projecto era suficiente visto estarmos a trabalhar apenas com um par estereoscópico. Além disso a versão *Lite* não permite que os *layers* de informação contenham mais de 50 000 pontos ou mais de 500 elementos do tipo polígono.

5.1.1 Criação de projecto e importação de imagens de satélite

Nesta fase, todos os procedimentos foram efectuados recorrendo ao manual do *software* que se encontra muito explícito e é de fácil consulta.

Assim, no *Photomod Lite*, foi criado um projecto do tipo *Satellite Scanner Imagery*. Após criar o projecto e de especificar os parâmetros deste, tais como sistema de coordenadas e intervalo de valores de altitudes da zona do terreno a processar, iniciou-se o carregamento das imagens de satélite numa só fiada de modo a criar a estereoscopia do par.

Para tal, seleccionou-se a pasta onde todas as imagens estavam e a respectiva informação adicional. Neste passo são apresentadas, pelo *software*, as imagens encontradas assim como todos os dados associados às mesmas, como identificador, tipo de sensor, largura, altura, número de bandas espectrais, bytes por pixel, entre outras informações. Ao seleccionar as imagens pretendidas foram efectuadas automaticamente, pelo *software*, correcções radiométricas mas foram preservados todos os parâmetros de correcção associados às imagens assim como compressão, formato e profundidade de cor das imagens. De realçar que dada a informação das imagens, quando se visualiza as mesmas no *software* (Figura 22), verifica-se que estas já têm uma orientação relativa no estereobloco (designação do *software* para o par de imagens estereoscópicas).

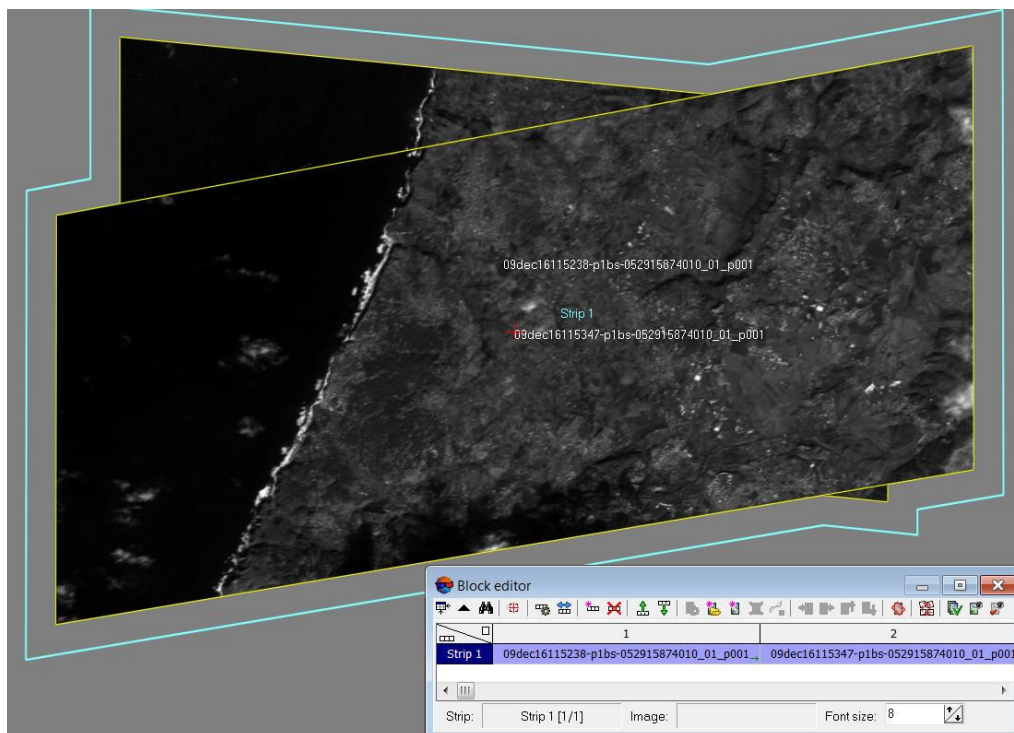


Figura 22 – Importação imagens satellite no *Photomod*

5.1.2 Orientação

Existem três possibilidades disponibilizadas pelo *Photomod* para orientar as imagens de satélite, que variam consoante o tipo de dados que vem com as imagens. Assim temos os métodos: rigoroso, genérico e o algoritmo RPC.

O algoritmo rigoroso é aplicado a dados que contêm ficheiros auxiliares de metadados com parâmetros de orientação interna e externa. Este método rigoroso de processamento de imagens fornece como precisão resultante, a resolução da própria imagem permitindo o uso de menos GCP's.

O método de orientação de imagens genérico, que usa o algoritmo da Transformação Linear Directa (TLD), em que é possível usar todo o tipo de imagens de satélite. Neste caso, é necessário usar um maior número de GCP's, pelo menos 10 por par estereoscópico.

O algoritmo RPC que é aplicado a imagens de satélite que têm, além dos ficheiros auxiliares de metadados, ficheiros com os coeficientes RPC. Neste caso, é possível alcançar resultados precisos de processamento de imagens usando um menor número de GCP's.

O modelo utilizado no processo de orientação das imagens foi o modelo das funções racionais com os respectivos coeficientes RPC, que incluem o modelo geométrico do WV2. De acordo com o manual do *software*, a precisão da orientação do WV2 é apresentada na Tabela 11:

Tabela 11 – Precisão WV2 no Photomod

Survey system	Pixel (b-w/color, m)	Scale of orthoimage	RMS Exy / Ez with GCP (m)	RMS Exy, without GCP (m)	Processing algorithms	Stereo (along tack, across track)
WorldView	0.5	5000 (2000)	0.5	15	RPC	Yes

Durante a realização do presente trabalho não foram encontrados estudos que definissem exactamente qual a quantidade necessária de GCP's para a orientação de imagens de satélite. No entanto o valor recomendado pelo manual do *Photomod* para o WV2, é de 1 a 4 GCP's por imagem e 3 a 4 *Tie Points* (pontos homólogos) por zona de sobreposição de imagens.

Posto isto, para a orientação das imagens foram utilizados 9 GCP's, do conjunto dos 28 pontos obtidos na primeira campanha de campo com o equipamento GNSS. Estes

pontos foram identificados precisa e inequivocamente nas imagens (de lembrar que as imagens do planeamento do apoio de campo não foram as mesmas que as actualmente usadas) e medidos fotogrametricamente no *Photomod*. Este número prevê-se ser o suficiente, embora não sejam equitativamente espalhados pelas imagens, pois segundo o relatório da orientação relativa apenas foram medidos GCP's em duas das zonas de von Gruber. Esta situação já se tinha antevisto e conscientemente as consequências foram ponderadas e assumidas, podendo-se refletir nos resultados finais.

Point Distribution by Zones

Distribution uniformity	Non-uniform
Min number of points in zone	0
Max number of points in zone	6
Average number of points in zone	1.5

Zone 1 Number of points: 6 Points: 12, 14, 16, 17, 19, 20	Zone 2 Number of points: 3 Points: 22a, 6, 7
Zone 3 Number of points: 0 Points:	Zone 4 Number of points: 0
Zone 5 Number of points: 0	Zone 6 Number of points: 0

Figura 23 – Distribuição dos GCP's

Em relação aos Tie Points foram medidos 10 ao longo de toda a área de sobreposição. Uma vez realizada a medição dos GCP's e Tie Points no par estereoscópico, procedeu-se à execução do ajustamento do bloco fotogramétrico, tendo-se obtido um EMQ de 0.543 metros. A Figura 24 ilustra a distribuição dos GCP's (pontos a azul) e dos Tie Points (pontos a rosa) utilizados.

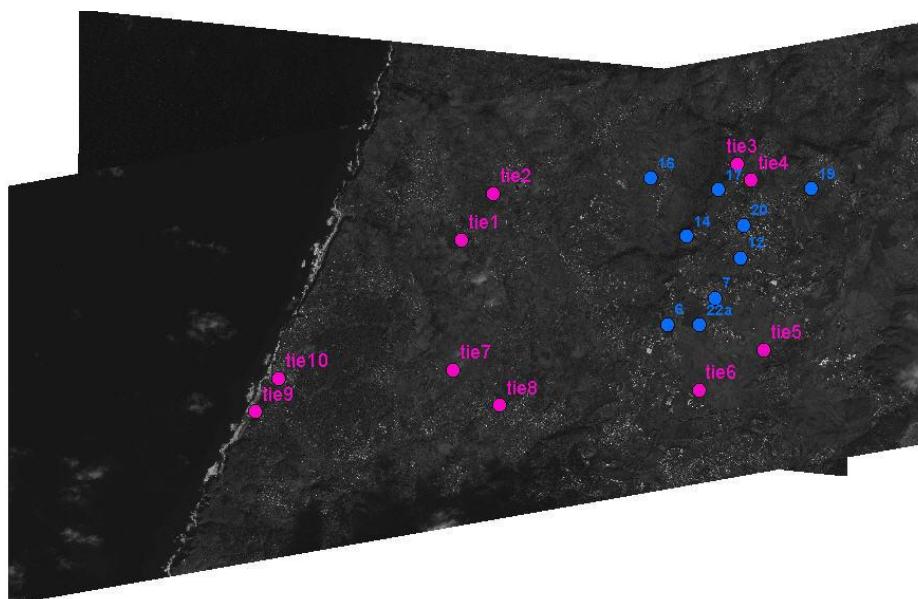


Figura 24 – Distribuição dos pontos de orientação

5.1.3 Definição de zonas e objectos a restituir

De modo a ter uma amostra representativa do trabalho efectuado pelo IGeoE na Carta Militar 1:25 000 e também devido à impossibilidade no período de tempo do projecto de restituir tudo o que está presente no par estereoscópico, optou-se pela definição de 9 zonas (Figura 25) espalhadas pelas imagens onde se procedeu à restituição de determinados objectos. A estas zonas foi dada uma designação, para melhorar a gestão do trabalho assim como possibilitar a execução de várias tarefas ao mesmo tempo, sem grande prejuízo no tempo da restituição.

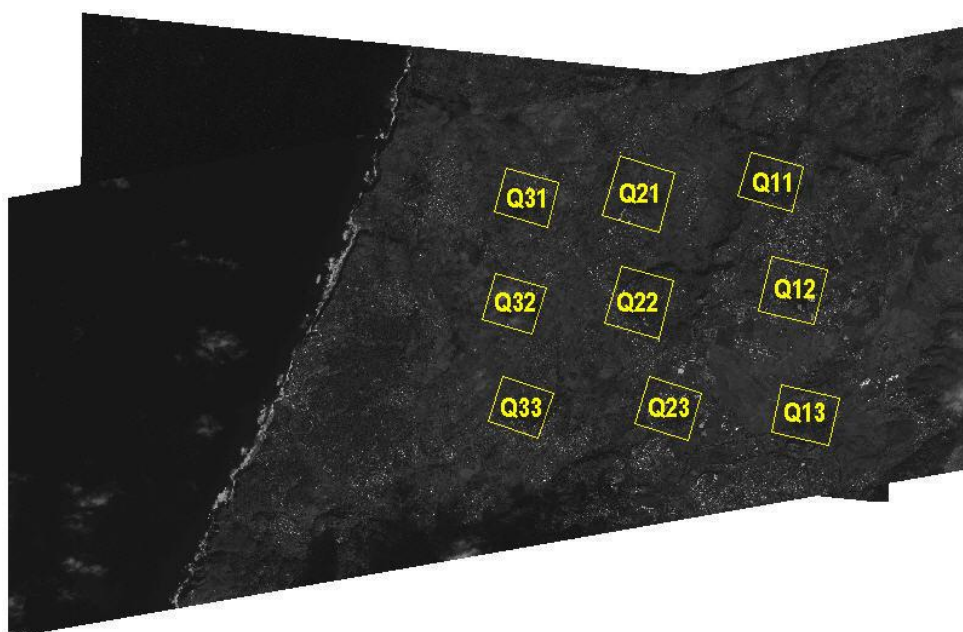


Figura 25 – Designação das zonas de análise

Aqui é importante realçar, que o objectivo deste trabalho não é a restituição em si, apesar desta ter as suas particularidades, mas a análise e comparação dos resultados obtidos. Assim sendo, o tempo despendido para esta tarefa foi de cerca de 1 mês, repartido entre diversas experiencias e análises e a restituição final foi executada por um operador de fotogrametria experiente.

Também, a quantidade enorme de objectos para restituir no Catálogo de Objectos da Carta Militar, 1:25 000, levou a que se fizesse uma selecção dos objectos que iriam ser restituídos. Assim definiu-se que iria ser restituída uma amostra representativa de objectos dos tipos ponto, linha e polígono.

5.1.4 Restituição

Aquando do início da restituição, a questão colocada foi decidir quem iria proceder à restituição em estereoscopia. Na tentativa de não empregar desnecessariamente

meios preciosos ao trabalho diário do IGeoE, resolveu-se iniciar a restituição pela autora. Contudo, e apesar do esforço e tentativa de rigor empregues, ao analisar a qualidade dessa restituição verificaram-se graves erros, nomeadamente no que diz respeito aos valores de altitude dos objectos restituídos.

Isto deve-se ao facto de um operador de fotogrametria, experiente, ter uma melhor noção do terreno em estereoscopia, logo coloca a marca flutuante exactamente em cima dos objectos, ao contrário da autora, inexperiente em estereorrestituição, que não tem a mesma percepção da marca flutuante, colocando-a muitas vezes acima ou abaixo dos objectos.

Da análise da Figura 26, verifica-se que o papel do operador é fundamental pois influencia a precisão dos objectos restituídos. Neste caso a comparação foi feita com objectos restituídos a partir de fotografias aéreas no IGeoE. Assim a decisão foi recorrer ao trabalho executado por um operador experiente, na pessoa do Sr. Sargento Ajudante José Dias, que restituiu um total de 1031 objectos.

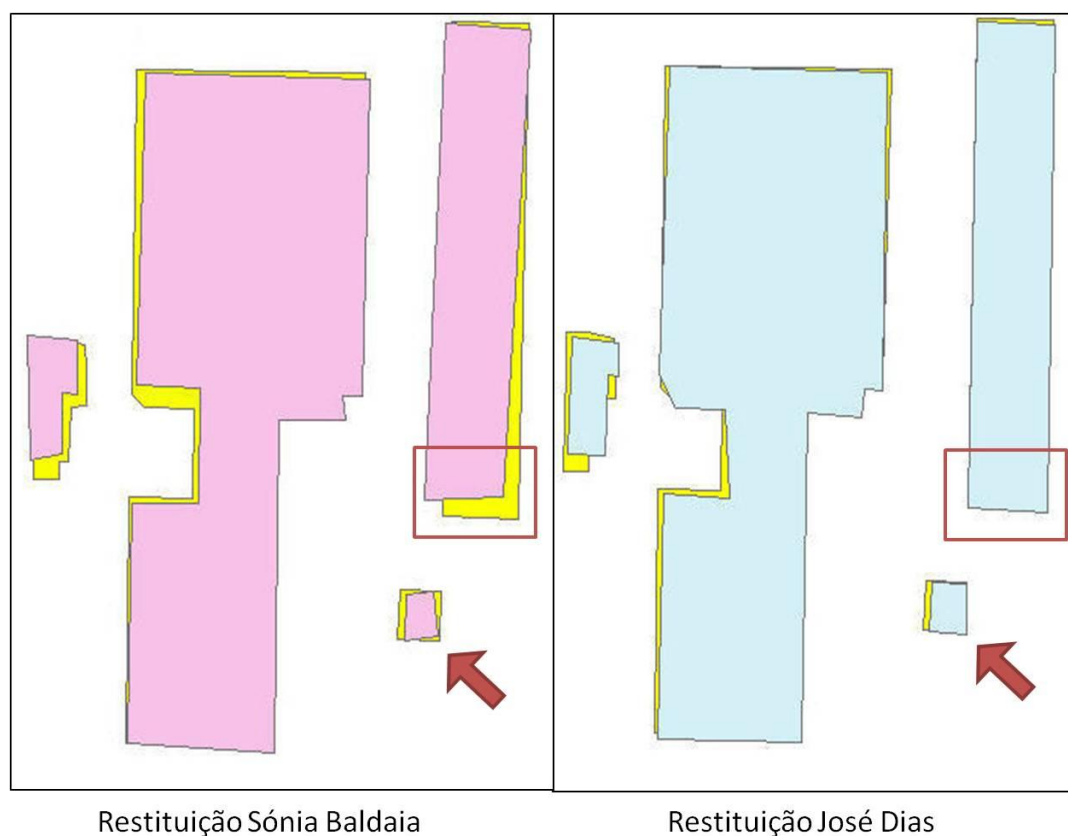


Figura 26 – Restituição de diferentes operadores

Em termos de verificação esporádica e expedita das coordenadas, foi feita uma comparação, muito simples, entre um polígono restituído a partir de imagem de satélite e o seu homólogo a partir de fotografia aérea. De realçar, que este procedimento foi

feito apenas para verificar se a orientação das imagens de satélite estava próxima da realidade, uma vez que não se conseguiu verificar a mesma a partir dos pontos de apoio, que não tinham sido usados para a orientação das imagens, levantados durante a primeira campanha de campo, pois estes não eram perfeitamente identificáveis e visíveis nas imagens. Este procedimento pouca validade tem pois compara dois valores sujeitos a erros independentes mas serviu para ter uma noção relativamente à orientação das imagens e avançar com o trabalho de restituição.

Concluiu-se que face ao erro tolerável, anteriormente abordado no capítulo 3.4, e apesar do valor em altitude exceder um pouco os 5 metros, a restituição poderia prosseguir, de acordo com Figura 27.

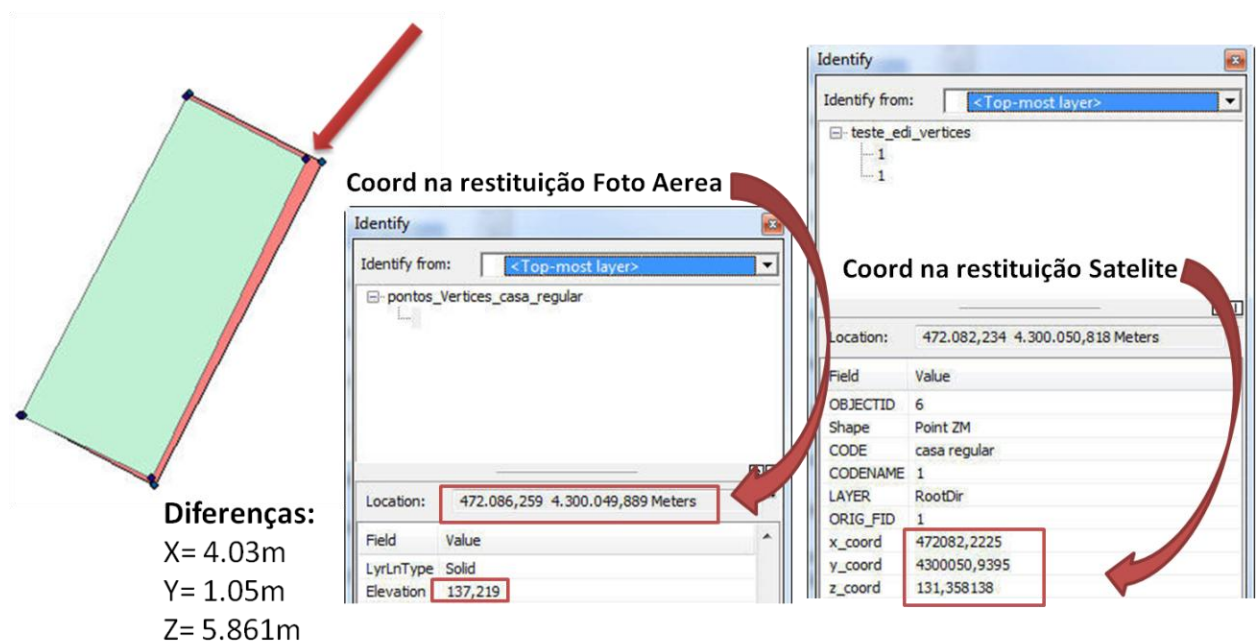


Figura 27 – Comparação de coordenadas

Após este procedimento, iniciou-se a restituição propriamente dita. Este processo foi feito, sempre tendo sempre em conta a restituição feita, em 2008 pelo IGeoE, a partir das fotografias aéreas, cujo GSD é de 0.5 metros, para se poder proceder posteriormente à sua comparação.

E como era isto concretizado? Ao mesmo tempo que o operador restituía na estação fotogramétrica a partir das imagens de satélite, tinha noutro monitor aberto o *software ArcGis* com a restituição feita a partir das fotografias aéreas da mesma zona que estava a trabalhar, para apenas restituir os mesmos polígonos. Assim, ao longo de todo o trabalho da restituição ia comparando os objectos presentes nas imagens e tentava, dentro dos possíveis, apenas restituir os mesmos e com a mesma geometria.

Relativamente aos objectos restituídos, apesar do objectivo inicial ser restituir uma amostra de objectos do tipo ponto, linha e polígono, com o avançar do projecto esse objectivo teve que ser redefinido. Isto porque, ao longo do trabalho foram constatados alguns factos que levaram a esse desenlace. Tais como, apesar da resolução geométrica de 0.46 metros, ainda existir alguma dificuldade na percepção de alguns objectos numa imagem de satélite, sendo estes visíveis na fotografia aérea. Assim como outro tipo de problemas relacionados com a restituição.

Exemplos práticos deste tipo de situações na restituição são:

- Pontos: nesta situação, definiu-se que se iria restituir poços e postes de alta tensão. Assim, dentro das 9 zonas definidas, iniciou-se a “procura” e restituição desses objectos. Aqui, constatou-se que nem todos os poços e postes de alta tensão presentes na restituição a partir das fotografias aéreas eram facilmente identificáveis nas imagens de satélite.

No caso dos postes de alta tensão, como se pode verificar pela Figura 28, na restituição a partir das fotografias aéreas dois postes eram facilmente identificados através da sombra, no entanto nas imagens de satélite apenas um era bem identificável, enquanto que no seguimento da linha de alta tensão, o segundo poste já não era bem visível.

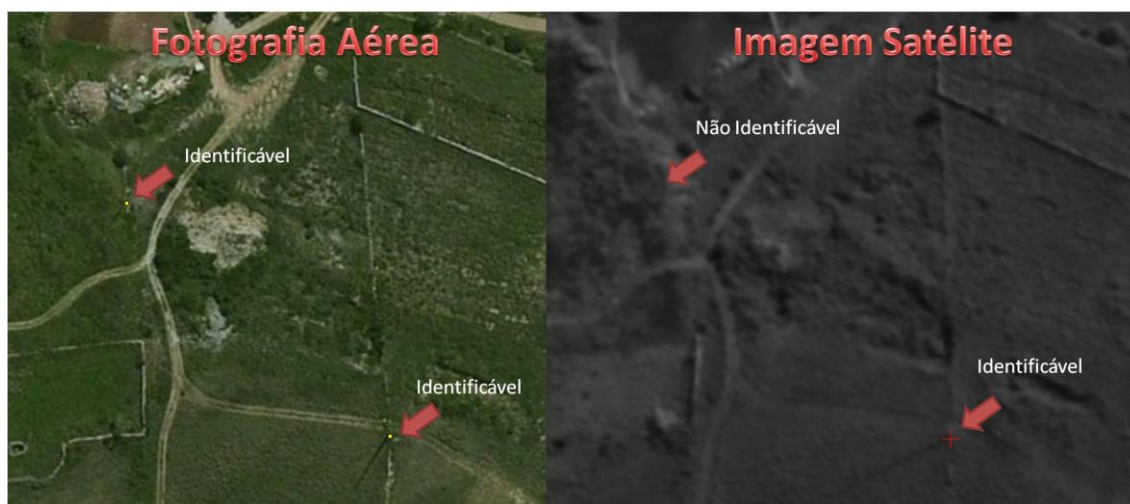


Figura 28 – Identificação de postes de alta tensão

De referir, que, neste caso, a identificação dos postes de alta tensão passa pela identificação da sombra dos mesmos, a inclinação do sol vai ter uma grande influência principalmente se não estiverem em superfícies planas e livres de outros objectos.

Outro objecto a restituir eram os poços. Nestes casos o mesmo tipo de situação voltou-se a repetir. Em algumas áreas das imagens de satélites, os poços não eram facilmente perceptíveis logo não eram restituídos, conforme Figura 29.



Figura 29 – Identificação de poços

Face a estas situações, optou-se por excluir a restituição de objectos do tipo ponto, uma vez que o trabalho efectuado nunca iria ser consistente com a restituição a partir das fotografias aéreas. Isto pode levar à conclusão que, em termos de restituição de objectos tipo ponto, as imagens WV2 não permitem restituições tão ricas em informação com as fotografias aéreas, dando origem a erros de omissão e/ou comissão no que concerne à conformidade semântica da informação.

- Linhas: nesta situação, definiu-se que se iriam restituir estradas com 7 metros ou mais de largura da faixa de rodagem e estradas com menos de 7 metros. No entanto, após se proceder à restituição de alguns troços, resolveu-se proceder a uma verificação da precisão dos mesmos. De acordo com a Figura 30, onde a restituição a partir de fotografias aéreas é a linha azul e a restituição a partir de imagens de satélite se encontra a vermelho, ao se estabelecer um *buffer* de 2.5 metros (metade do erro de graficismo) verificou-se que em qualquer situação, a restituição estava sempre dentro da tolerância estabelecida. Consequentemente qualquer estrada que fosse restituída estaria sempre dentro da precisão desejada, pois nestes casos a restituição é referente ao eixo central da estrada. Assim, chegou-se à conclusão que a restituição de linhas não seria muito útil para o objectivo do projecto logo resolveu-se excluir a restituição de objectos do tipo linha.



Figura 30 – Elementos lineares

Assim sendo, no final de todas estas experiências e constatações, acabou por se definir que a restituição a partir de imagens de satélite seria feita apenas para polígonos.

- Polígonos: nesta situação, definiu-se que se iria restituir, de acordo com Catálogo de Objectos do IGeoE: casas (regulares e irregulares) e grandes construções.

Ainda relativamente à restituição, ao longo do projecto inúmeros problemas surgiram, tais como os que a seguir se descrevem:

-Em algumas áreas das imagens, comparativamente com a restituição de referência, a imagem era muito escura (devido à inclinação do sol no momento de captação da imagem) sendo difícil distinguir os objectos a restituir, como se pode verificar pela Figura 31;

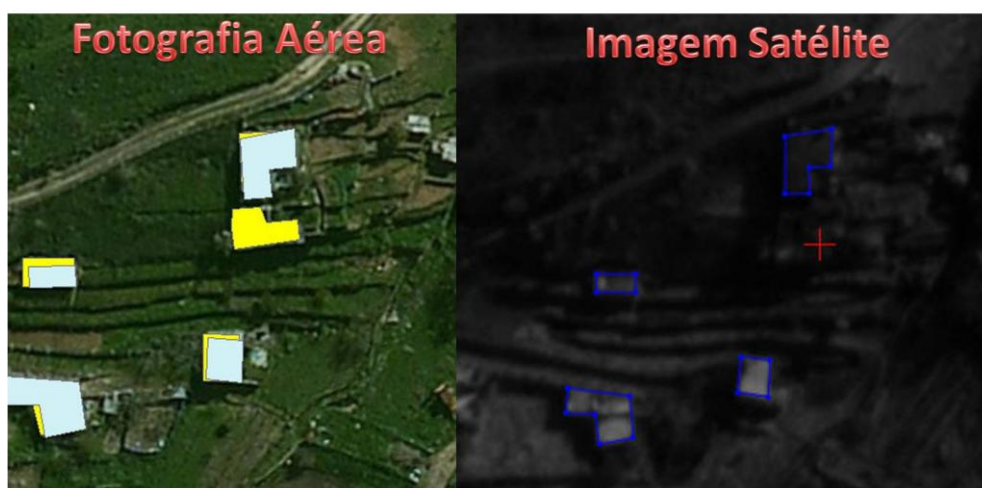


Figura 31 – Diferença na qualidade das imagens

-
- Em algumas zonas, por exemplo, no topo do Quadrado Q1.1, a inclinação da imagem, em termos de terreno, era tanta que não se conseguia ter percepção de um telhado por inteiro;
 - Algumas casas, comparativamente com as fotografias aéreas, não se viam na imagem de satélite devido a arvoredos muito densos ou à presença de demasiadas nuvens, como no caso do Quadrado Q2.2 (Figura 32), onde era quase impossível visualizar todos os objectos a restituir;



Figura 32 – Visibilidade diminuída por nuvens

- Relacionado com o facto da actual restituição, cujo objectivo é a comparação e validação, ter de ser feita respeitando o mais fiel possível a restituição com as fotografias aéreas, destaca-se o facto de casas restituídas em épocas diferentes por fontes diferentes (fotografia aérea e imagem satélite) serem restituídas de forma ligeiramente diferente, conforme ilustra a Figura 33. Assim, muitas vezes, apesar do constante acompanhamento e visualização da restituição efectuada a partir das fotografias aéreas no *ArcGis*, a restituição executada a partir das imagens de satélite acabava por não ter a mesma configuração, ou seja, não tinha o mesmo número de vértices o que não iria servir para a comparação de coordenadas. Isto, muitas vezes devia-se ao facto dos contornos dos objectos nas imagens de satélite não serem muito perceptíveis, condicionando assim a restituição de pormenores, como os cantos das casas;

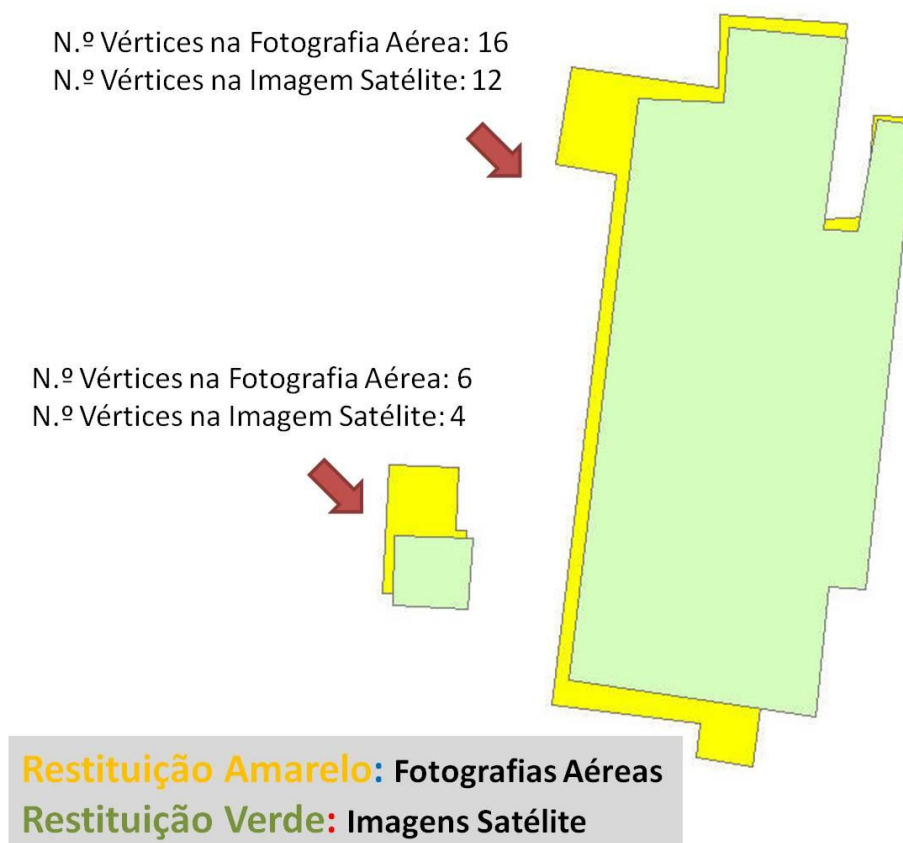


Figura 33 – Restituição com configurações diferentes

- Em algumas situações, as casas que existiam na restituição por fotografia aérea em 2008, nas imagens de satélite (Dezembro de 2009) deixaram de existir passando a ser ruínas;

- Outra situação que teve de ser contornada foi a limitação da versão livre do *software*, que apenas permitia a restituição de 500 elementos por *layer* de informação. Assim definiu-se à priori, que para cada uma das 9 zonas estabelecidas, seriam restituídos objectos para um determinado *layer*. Em algumas destas zonas, houve ainda a necessidade de usar mais de um *layer* devido à grande quantidade de casas para restituir, definindo-se que posteriormente no *ArcGis*, seria feita a união desses elementos da mesma zona.

Concluída a restituição, o Sargento Ajudante Dias foi questionado sobre a sua opinião acerca do uso do *Photomod Lite* e o tempo de restituição. Foi respondido que, apesar de ser despendido algum tempo inicial para aprendizagem do novo *software*, em termos de restituição os procedimentos e tempo previsto eram muito semelhantes.

5.2 2ª Fase – Processamento de dados

5.2.1 Processamento e limpeza de dados

Após a definição dos objectos a restituir, ou seja, de casas (regulares e irregulares) e de grandes construções, houve a necessidade, de antes, de se proceder à selecção da informação pretendida, restituída a partir de fotografias aéreas, do ficheiro .dgn dos dados de 2008 do IGeoE.

Assim, no *software ArcGis*, foram criados a partir da função *Model Builder*, diversos modelos (Figura 34) com fluxos de rotinas de trabalho que uniam sequências de ferramentas de selecção para fazer a extracção apenas dos dados pretendidos.

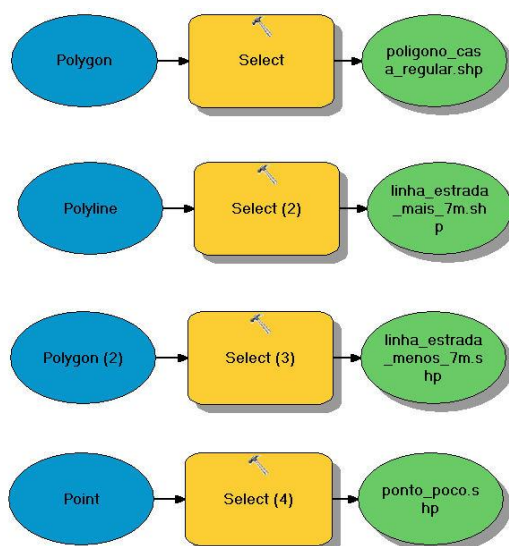


Figura 34 – Modelos criados com *Model Builder*

Por exemplo (Figura 35), seleccionar do ficheiro .dgn original todas as estradas com mais de 5.5 metros de largura de faixa de rodagem e guardar numa nova *shapefile* esses dados, cuja condição SQL seria: "Level"=21 AND "Color"=2 AND "LineWt" =9. De referir que estas características foram retiradas do Catálogo de Objectos do IGeoE.

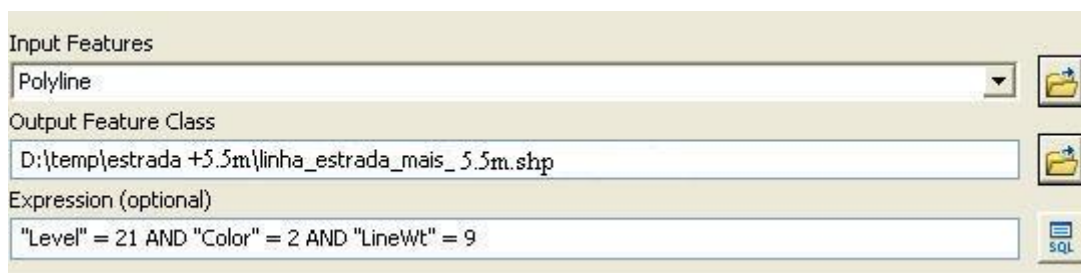


Figura 35 – Selecção específica de características

Este procedimento foi importante, pois tal como já foi referido, o operador aquando da restituição a partir das imagens de satélite, fazia ao mesmo tempo a visualização e comparação com a restituição a partir de fotografias aéreas, de modo a apenas restituir os mesmos polígonos e dentro do possível com a mesma configuração.

Na exportação dos dados restituídos a partir das imagens de satélite para o *ArcGis*, houve a necessidade de criar mais alguns fluxos de rotina de trabalho, tais como: a definição do sistema de coordenadas correcto, visto aquando da exportação dos dados do *Photomod* estes virem sem essa informação; a execução da união dos dados provenientes dos diferentes *layers* de informação, de acordo com a zona restituída, para uma melhor organização da informação e fácil manuseamento e processamento.

Assim, obteve-se a totalidade dos dados restituídos organizados por *shapefiles* relativas a cada zona, de modo a iniciar-se a análise e limpeza dos mesmos.

Aqui o objectivo foi repartido por várias fases: inicialmente fazer uma análise detalhada por zona, cujo objectivo seria comparar os polígonos restituídos a partir das imagens de satélite com os das fotografias aéreas e eliminar os polígonos que por algum motivo não fazia sentido comparar. Tais como: os polígonos das fotografias aéreas que não tinham sido restituídos e os polígonos que não tinham exactamente a mesma configuração em ambas as restituições, ou seja, o mesmo número de vértices. No final desta fase, foi verificado que em cada zona existia o mesmo número de polígonos e no mesmo local, em ambas as restituições.

Depois de executado este procedimento em todas as 9 zonas, a fase seguinte foi implementar uma rotina cujo objectivo seria a extracção das coordenadas dos vértices dos polígonos, de forma a se proceder à comparação de coordenadas entre restituições. Assim, através da função *Feature Vertices to Points*, foram criadas novas *shapefiles* contendo os pontos gerados a partir dos vértices dos polígonos. Por exemplo: no quadrado Q1.1 onde se tinha 82 polígonos, obteve-se uma nova *shapefile* com 450 vértices correspondentes a todos os polígonos.

No entanto, na verificação do funcionamento desta função detectaram-se erros face ao objectivo pretendido. Ao se fazer o *Calculate Geometry* para se obter as coordenadas dos vértices, constatou-se que o número de pontos gerado era superior ao número de vértices existente em cada polígono. Por exemplo: para um determinado polígono com 4 vértices, eram gerados 5 pontos. (Figura 36)

FID	Shape *	CODE	CODENAME	LAYER	ORIG FID
241	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	46
243	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	48
244	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	48
245	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	48
246	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	48
248	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	49
249	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	49
250	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	49
251	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	49
253	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	50
254	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	50
255	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	50
256	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	50
257	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	50
258	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	50
260	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	51
261	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	51
262	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	51
263	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	51
265	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	52
266	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	52
267	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	52
268	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	52
269	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	52
270	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	53
271	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	53
272	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	53
273	Point ZM	casa	Q13C	Quadrado 1 3	53

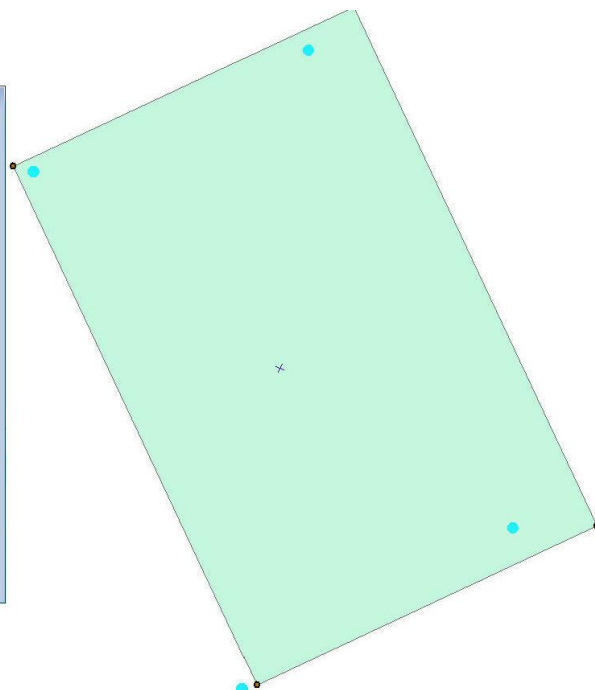


Figura 36 – Detecção de erros nos vertices

Este erro foi detectado em todas as situações em que foi aplicada a função *Feature Vertices to Points*, sendo um erro sistemático. Supõe-se que o motivo deste erro é o facto dos polígonos serem *shapefiles* fechadas, e o algoritmo aplicado apenas suspender a operação quando chega ao ponto inicial repetindo esse mesmo ponto.

Infelizmente, não se conseguiu encontrar uma solução para efectuar uma correcção automática deste erro tendo este sido corrigido e verificado manualmente para todas as *shapefiles* de cada zona, ao longo de todo o processo de geração das coordenadas dos vértices dos polígonos.

Concluída esta fase, a mesma função e procedimento foi repetida para todos os polígonos provenientes da restituição a partir das fotografias aéreas. Assim, obtiveram-se *shapefiles* tanto da restituição a partir das imagens de satélite como das fotografias aéreas, organizadas por zonas, com coordenadas geradas a partir dos vértices dos polígonos correspondentes.

Posteriormente, procedeu-se à verificação de que no total de todas as *shapefiles* geradas a partir das imagens de satélite, existia exactamente o mesmo número de vértices que a partir das fotografias aéreas. Pois seria, apenas depois de tudo coincidir e bater certo que se avançaria para a próxima fase: a junção e comparação espacial das coordenadas. O balanço final, no total de todas as zonas, foi a geração de 5345 pontos com coordenadas para comparação entre restituições.

5.2.2 Junção e Comparação Espacial

Nesta fase o objectivo foi proceder à junção de atributos, neste caso as coordenadas dos vértices homólogos dos polígonos provenientes das diferentes restituições, tendo por base uma relação espacial. Esta junção espacial foi feita recorrendo à função *Spatial Join*, que se baseia na localização espacial relativa entre pontos, de acordo com determinados critérios.

Neste caso, a junção foi definida como *Join one to one*, que determina que a associação, por exemplo de uma coordenada da restituição por imagem de satélite é feita apenas com uma única coordenada da restituição por fotografia aérea. Também, o critério aplicado foi a relação de *Closest*, ou seja, associar uma coordenada de um ponto da restituição por imagem de satélite à coordenada do ponto mais próximo da restituição por fotografia aérea.

Daqui resultaram novas *shapefiles*, de acordo com a respectiva zona, cuja tabela de atributos continha toda a informação necessária à comparação de coordenadas entre as diferentes restituições. A Figura 37 representa parte da tabela de atributos resultante do quadrado Q1.1, onde as coordenadas da restituição por fotografia aérea são as correspondentes às colunas onde diz IGeoE e as coordenadas da restituição por imagem de satélite onde diz *Photomod*.

Join_vertices_Q11													
FID	Shape	Join Count	TARGET FID	ORIG FID	X IGeoE	Y IGeoE	Z IGeoE	CODENAME	ORIG FID 1	X Photomod	Y Photomod	Z Photomod	
0	Point ZM	1	0	0	471180,660877	4303020,81987	179,817	Q11GC	0	471179,192051	4303020,29207	177,037689	
1	Point ZM	1	1	0	471194,365573	4303055,41755	179,391	Q11GC	0	471192,603877	4303055,08165	176,493723	
2	Point ZM	1	2	0	471250,577908	4303034,34776	179,07	Q11GC	0	471249,193815	4303033,20595	176,493723	
3	Point ZM	1	3	0	471244,671138	4303018,94	179,07	Q11GC	0	471242,16744	4303017,29225	176,493723	
4	Point ZM	1	4	0	471265,248672	4303011,11327	178,92	Q11GC	0	471263,116763	4303011,07102	173,230083	
5	Point ZM	1	5	0	471269,894875	4303022,96076	177,975	Q11GC	0	471267,876079	4303022,98445	172,686144	
6	Point ZM	1	6	0	471273,792043	4303024,85188	178,12	Q11GC	0	471276,806775	4303024,04278	175,405816	
7	Point ZM	1	7	0	471347,921102	4302996,70172	179,974	Q11GC	0	471347,382625	4302995,76618	175,405816	
8	Point ZM	1	8	0	471326,752095	4302941,77881	178,535	Q11GC	0	471326,551716	4302943,23122	173,774042	
9	Point ZM	1	9	0	471255,090157	4302970,42419	178,895372	Q11GC	0	471253,378376	4302971,05323	175,405879	
10	Point ZM	1	10	0	471257,230993	4302974,96437	178,866999	Q11GC	0	471255,461238	4302975,12577	175,405879	
11	Point ZM	1	11	0	471251,067013	4302977,90339	178,335	Q11GC	0	471249,042339	4302978,28587	171,598239	
12	Point ZM	1	12	0	471257,210085	4302992,10997	179,264	Q11GC	0	471254,686177	4302991,08863	171,598239	
13	Point ZM	1	13	0	471180,660877	4303020,81987	179,817	Q11GC	0	471179,192051	4303020,29207	177,037689	
14	Point ZM	1	14	1	471218,557304	4302960,14397	178,833	Q11GC	1	471218,666355	4302960,08035	173,229928	
15	Point ZM	1	15	1	471331,004289	4302916,60225	179,474	Q11GC	1	471330,271394	4302916,95576	173,229928	
16	Point ZM	1	16	1	471323,814666	4302898,08578	179,02	Q11GC	1	471322,694807	4302898,06223	173,229928	
17	Point ZM	1	17	1	471211,297186	4302941,78876	178,794	Q11GC	1	471210,616895	4302940,94158	173,229928	
18	Point ZM	1	18	1	471218,557304	4302960,14397	178,833	Q11GC	1	471218,666355	4302960,08035	173,229928	

Figura 37 – Tabela de atributos do quadrado Q11

O último procedimento no *ArcGis*, foi a extracção de todos estes dados para o *Excel*, para se proceder à análise de resultados entre restituições. Esta tarefa foi executada, com uma ferramenta acrescentada à *toolbox* do *ArcGis*, denominada *Table to Excel*.

Neste momento, é importante referir que todos estes procedimentos foram executados com vista à comparação entre diferentes métodos de restituição, ou seja, entre os dados provenientes da restituição a partir de imagem de satélite e os provenientes da fotografia aérea.

Mas todas estas operações foram efectuadas novamente para mais duas situações. Primeiramente, para a validação da restituição por imagem de satélite, cujo objectivo é a comparação entre as coordenadas da restituição e as coordenadas GNSS planeadas e obtidas durante a segunda campanha de campo. E posteriormente, a título de curiosidade, na validação da restituição por fotografia aérea feita no IGeoE, onde se faz a comparação entre as coordenadas da restituição e as coordenadas GNSS planeadas e obtidas durante a segunda campanha de campo.

As Figura 38 e Figura 39, representam parte das tabelas de atributos resultantes da junção espacial entre coordenadas da restituição a partir de imagem de satélite e coordenadas do apoio de campo, e entre coordenadas da restituição a partir de fotografia aérea e coordenadas do apoio de campo, respectivamente.

Photomod_campo									
FID	Shape *	ID	N photomod	E Photomod	C Photomod	N campo	E campo	C campo	
0	Point ZM	1	4302921,663	471367,1703	170,184034	4302920,167	471363,6269	174,2161	
1	Point ZM	2	4302844,206	471149,6443	164,825716	4302845,407	471149,5022	167,9963	
2	Point ZM	3	4302846,374	471145,5892	164,825716	4302847,612	471145,101	169,0022	
3	Point ZM	4	4302851,762	471148,1882	164,825716	4302852,823	471147,7666	169,0235	
4	Point ZM	5	4302869,014	471120,6439	163,397677	4302869,036	471119,3641	167,157	
5	Point ZM	6	4302855,514	471090,905	163,601686	4302853,148	471089,8853	167,4248	

Figura 38 – Junção coordenadas imagem de satélite e coordenadas do campo

IgeoE_campo									
FID	Shape *	ID	N IgeoE	E IgeoE	C IgeoE	N Campo	E Campo	C Campo	
0	Point ZM	1	4297735,718	464866,8988	147,115	4297735,945	464866,4182	145,622	
1	Point ZM	2	4297733,391	464867,3537	147,115	4297733,21	464867,0106	146,6964	
2	Point ZM	3	4297729,431	464852,2237	147,115	4297730,251	464851,9654	146,9396	
3	Point ZM	4	4297731,12	464860,8574	147,115	4297731,944	464862,1242	146,8906	
4	Point ZM	5	4297734,412	464860,2145	147,115	4297734,762	464860,3961	145,5688	
5	Point ZM	6	4297758,766	464922,5228	156,77	4297758,837	464922,4524	154,9898	

Figura 39 – Junção coordenadas fotografia aérea e coordenadas do campo

5.3 3ª Fase – Análise de resultados

A fim de investigar a potencialidade do par estereoscópico WV2 foram calculados os erros planimétrico e altimétrico, de acordo com os critérios anteriormente explicados no ponto 3.4 deste projecto.

Com esta finalidade, optou-se por fazer esta análise de três formas diferentes:

- 1) Comparação entre coordenadas da restituição a partir de imagem de satélite e coordenadas da restituição a partir de fotografia aérea;
- 2) Comparação entre coordenadas da restituição a partir de imagem de satélite e coordenadas obtidas por GNSS na segunda campanha de campo;

- 3) Comparação entre coordenadas da restituição a partir de fotografia aérea e coordenadas obtidas por GNSS na segunda campanha de campo.

A metodologia empregue nas comparações foi de inicialmente fazer um estudo isolado dentro de cada quadrado e posteriormente um estudo da área total restituída.

5.3.1 Comparação entre restituições

Nesta fase foram calculados as diferenças entre as coordenadas planimétricas e altimétricas, através da comparação entre as coordenadas da restituição a partir de imagem de satélite e a partir de fotografia aérea. Este procedimento foi executado de acordo com os dois métodos anteriormente referidos: o STANAG 2215 e o EMQ estabelecido para a cartografia 1:10 000 da DGT.

De referir que os conceitos implicados na interpretação das tabelas dos resultados, encontram-se apresentados no ponto 3.4., mas importa clarificar o que é o Factor de Correção, em termos de CMAS e LMAS. De modo a aplicar testes estatísticos aos resultados, o STANAG 2215, prevê neste campo em particular a aplicação do teste Qui-Quadrado para um nível de confiança 95%, cujo objectivo é comparar os resultados observados com os esperados.

Assim, de seguida apresentam-se os resultados relativamente a cada quadrado estudado nas tabelas e gráficos correspondentes.

Tabela 12 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q11

Q11								
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ			
465	Erro Circular		2.995 m		Planimetria		Altimetria	
	CMAS	2.157m	LMAS	5.587m	EMQ	1.447m	EMQ	4.441m
	Factor Correção CMAS	2.073m	Factor Correção LMAS	5.369m	Tolerâncias			
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2	N.º Pontos > 2.3m	22	N.º Pontos > 3m	429

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q11 (Tabela 12), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 95% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.447 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são bem piores,

verificando-se que apenas 8% dos pontos se encontram dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 4.441 metros.

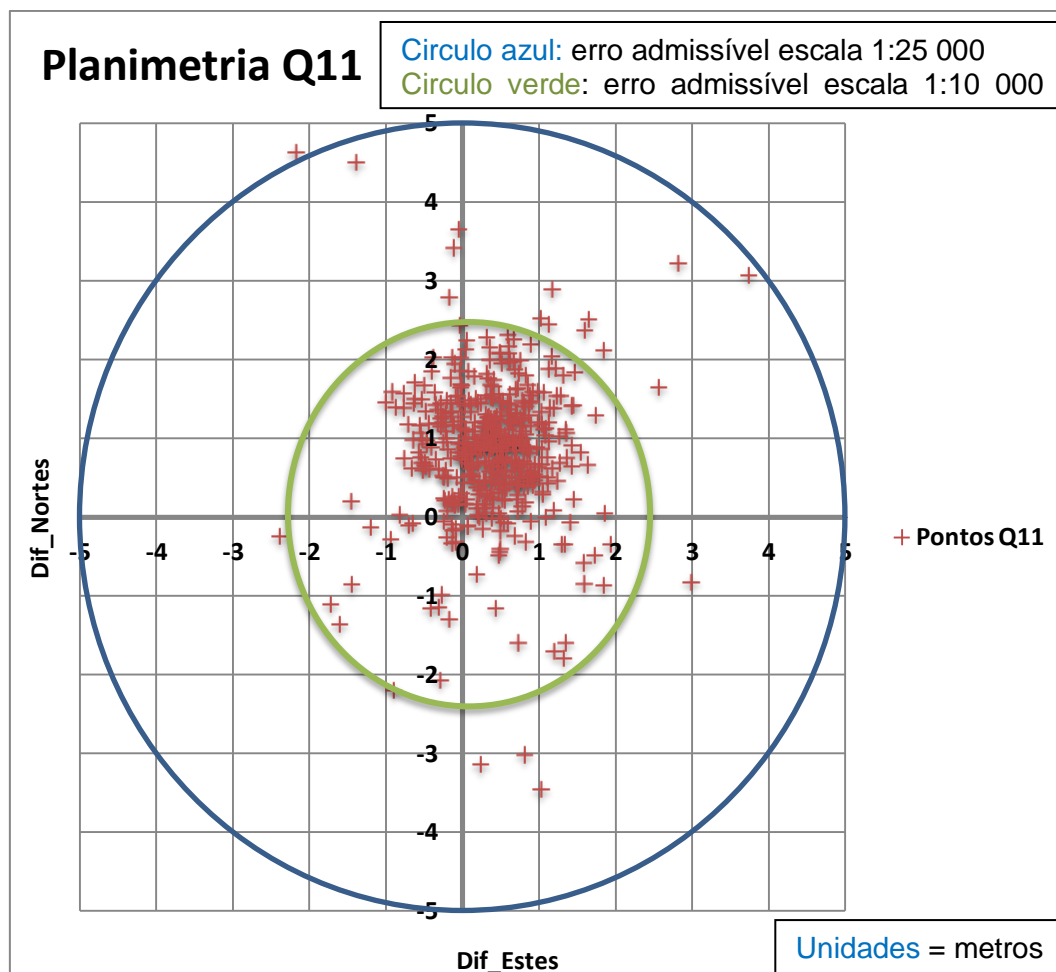


Gráfico 1 – Planimetria dos pontos do quadrado Q11

Como se pode verificar pelo Gráfico 1, apenas um ponto se encontra fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 95% dos pontos estão dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 13 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q12

Q12							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
1272	Erro Circular		2.451 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.663m	LMAS	5.145m	EMQ	1.491m	EMQ 5.235m
	Factor Correção CMAS	1.599m	Factor Correção LMAS	4.945m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	1	N.º Pontos > 2.3m	76	N.º Pontos > 3m 1246

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q12 (Tabela 13), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 94% dos pontos comparados se encontram dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.491 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são bem piores, verificando-se que apenas 2% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 5.235 metros.

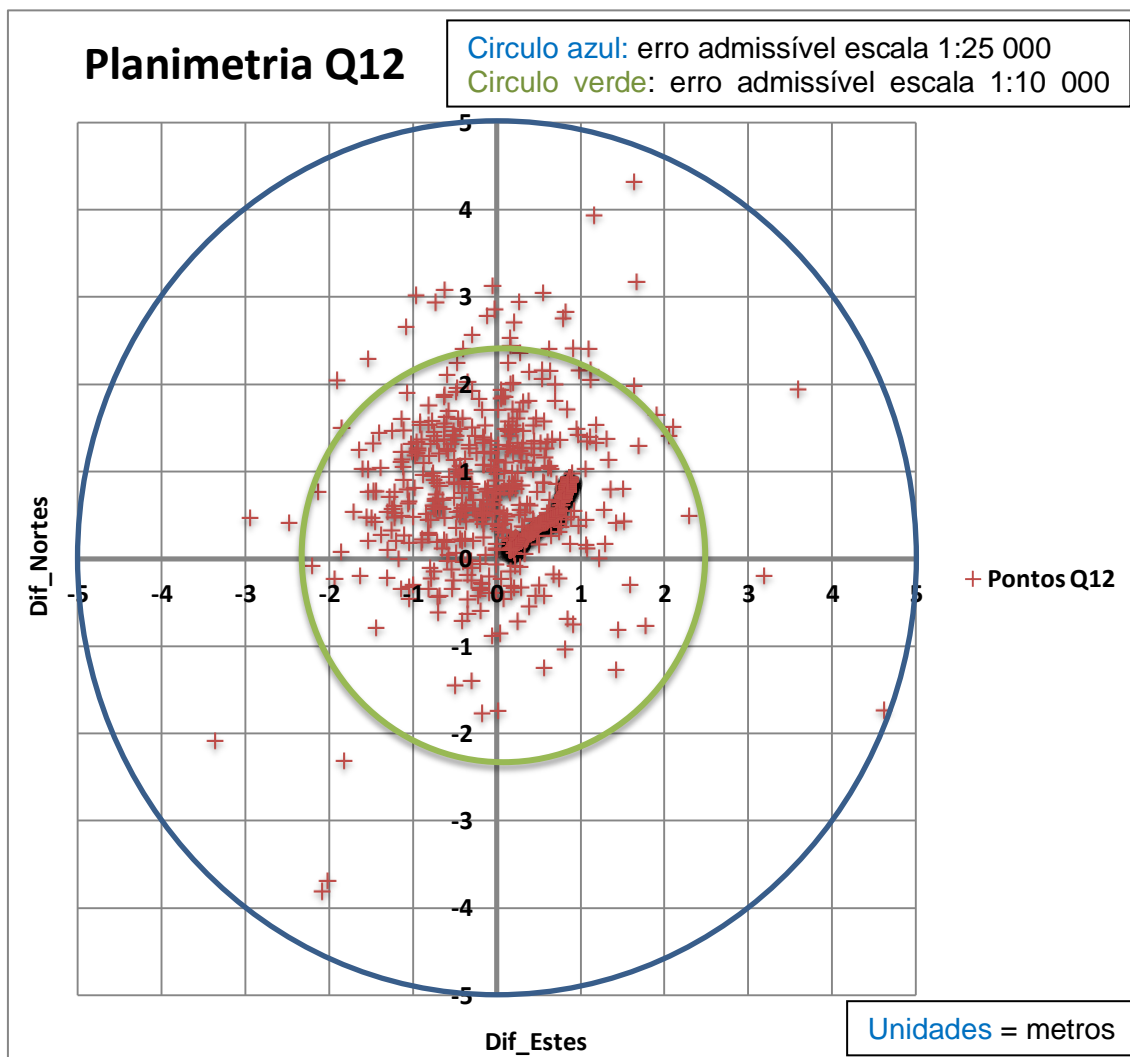


Gráfico 2 – Planimetria dos pontos do quadrado Q12

Como se pode verificar pelo Gráfico 2, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 94% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 14 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q13

Q13							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
559	Erro Circular		3.689 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	2.213m	LMAS	8.907m	EMQ	1.458m	EMQ 6.268m
	Factor Correção CMAS	2.127m	Factor Correção LMAS	8.562m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2			
					N.º Pontos > 2.3m	35	N.º Pontos > 3m 558

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q13 (Tabela 14), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 94% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.458 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são péssimos, verificando-se apenas um ponto dos 559 pontos encontra-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 6.268 metros.

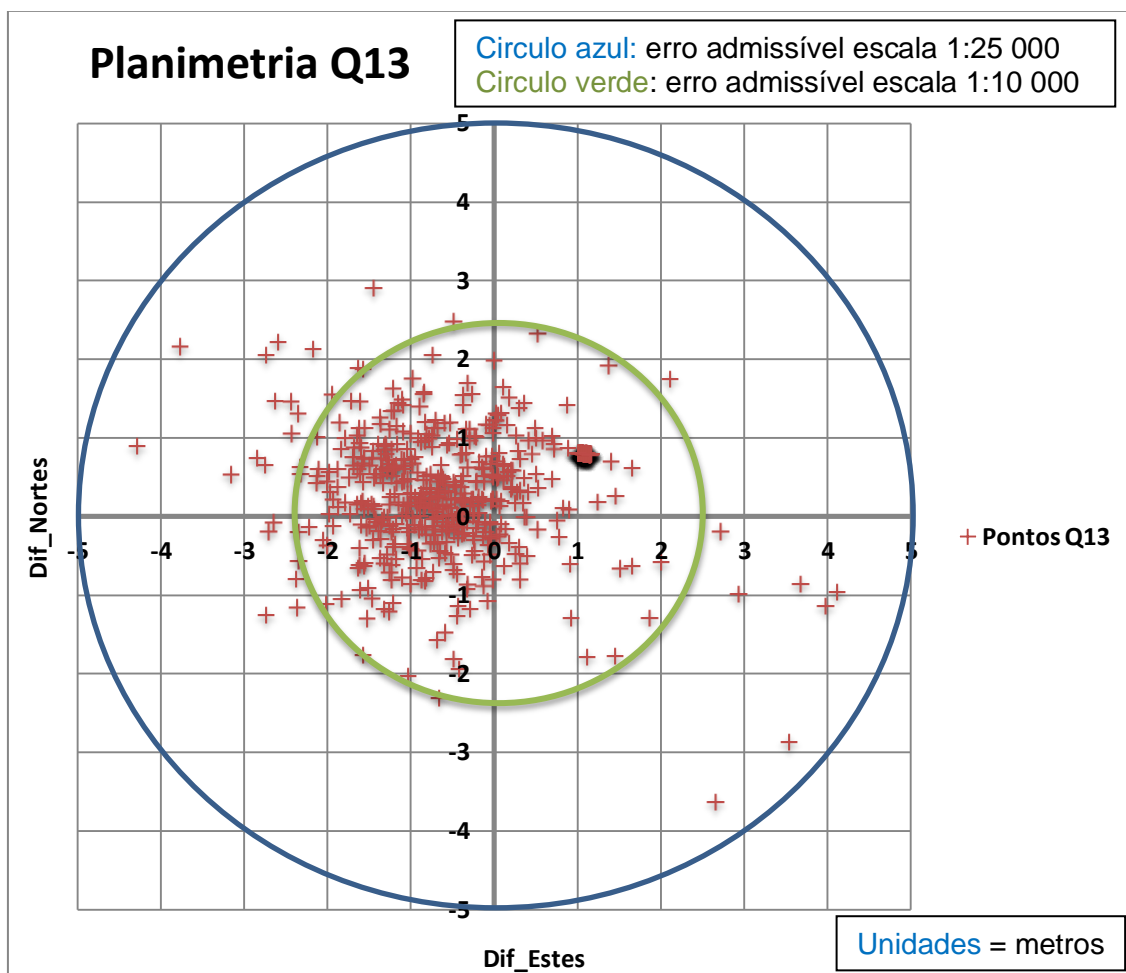


Gráfico 3 – Planimetria dos pontos do quadrado Q13

Como se pode verificar pelo Gráfico 3, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 94% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 15 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q21

Q21							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
429	Erro Circular	2.915 m			Planimetria	Altimetria	
	CMAS	1.821m	LMAS	1.422m	EMQ	1.199m	EMQ 0.864m
	Factor Correção CMAS	1.75m	Factor Correção LMAS	1.367m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	16	N.º Pontos > 3m 4

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q21 (Tabela 15), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 96% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.199 metros. Em termos de altimetria, verifica-se que 99% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 0.864 metros.

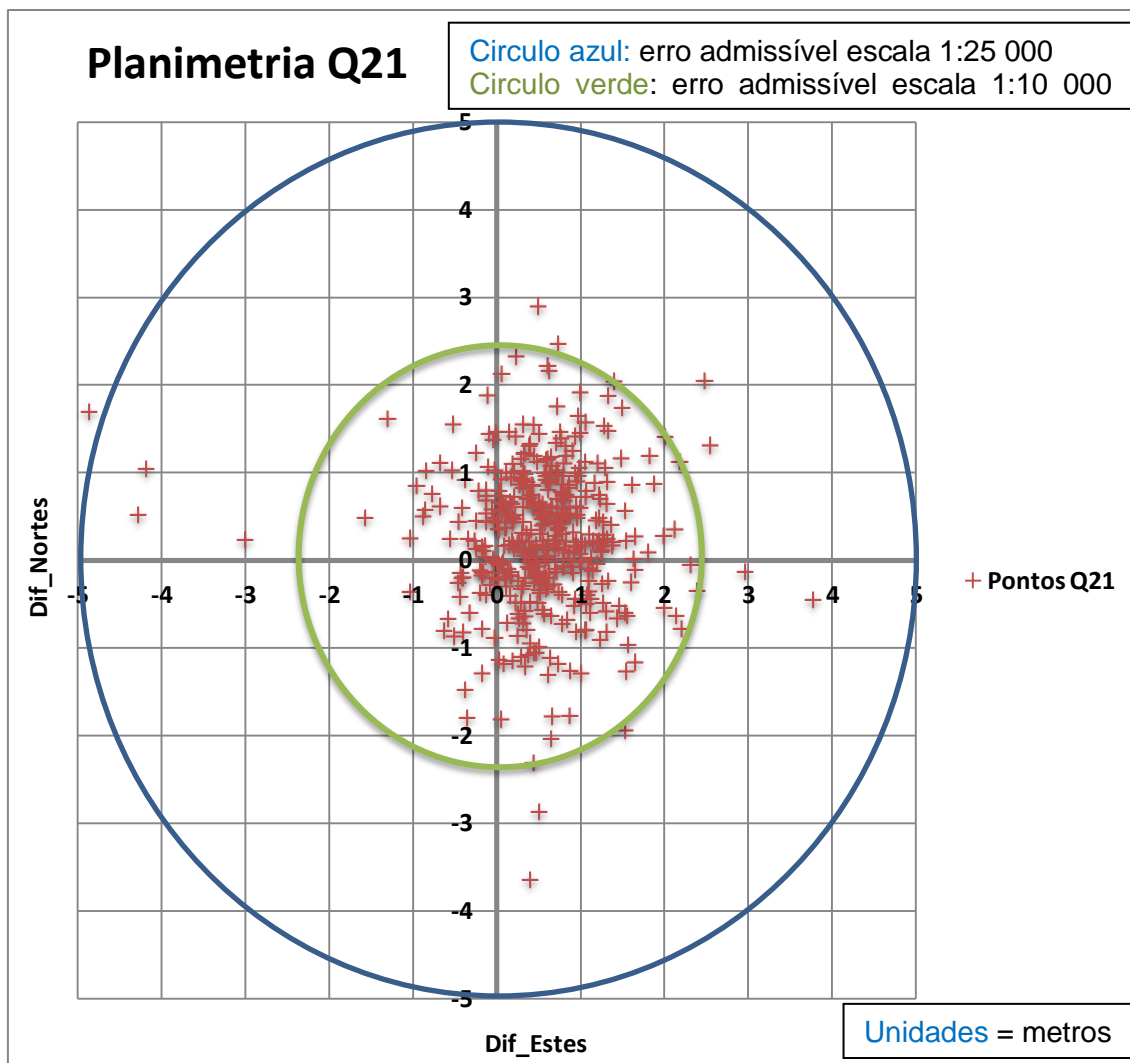


Gráfico 4 – Planimetria dos pontos do quadrado Q21

Como se pode verificar pelo Gráfico 4, apenas um ponto se encontra fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 96% dos pontos estão dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 16 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q22

Q22							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
795	Erro Circular		2.871 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.705m	LMAS	1.386m	EMQ	1.185m	EMQ 1.165m
	Factor Correção CMAS	1.639m	Factor Correção LMAS	1.332m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	24	N.º Pontos > 3m 10

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q22 (Tabela 16) pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 97% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.185 metros. Em termos de altimetria, verifica-se que 99% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.165 metros.

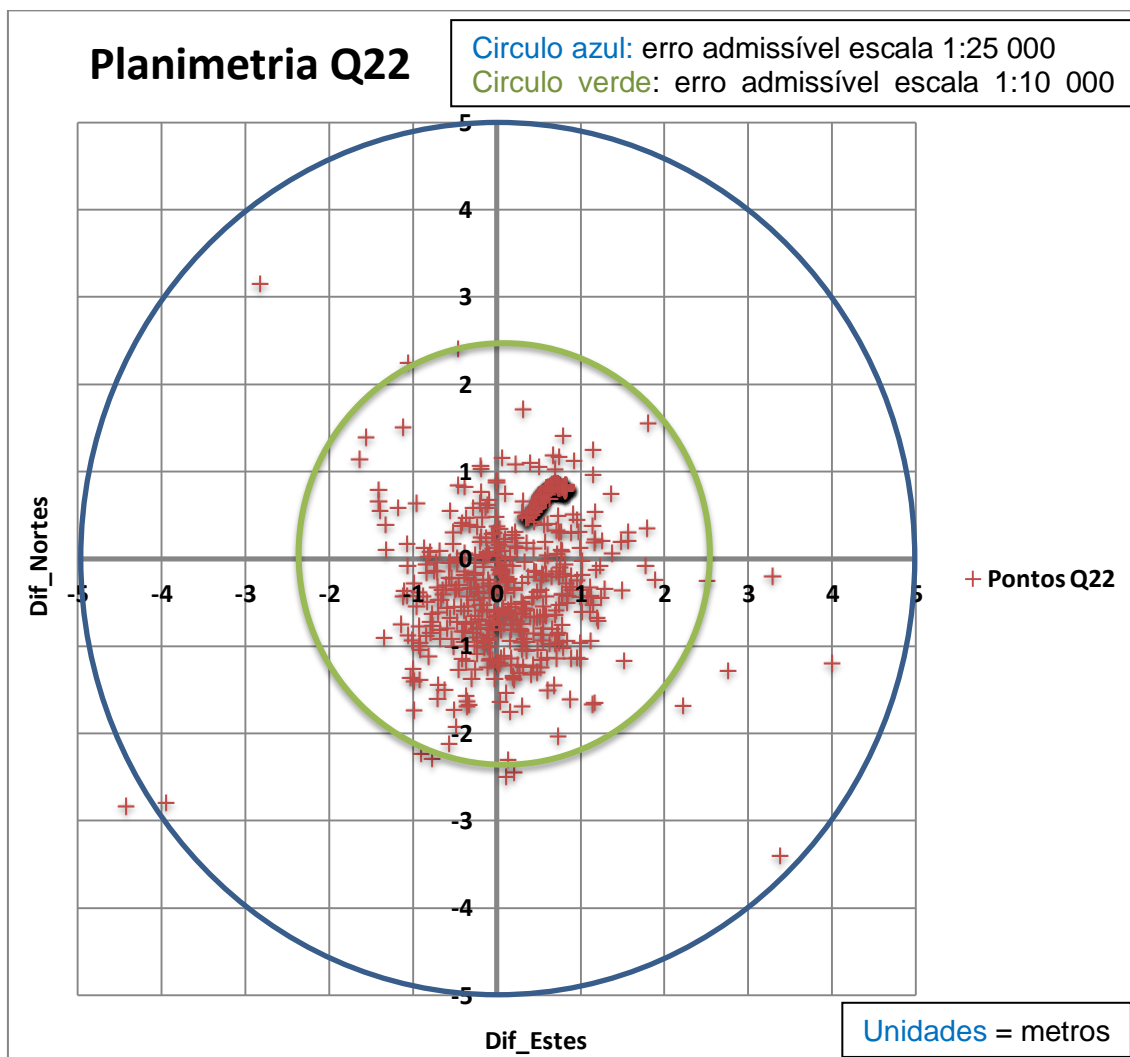


Gráfico 5 – Planimetria dos pontos do quadrado Q22

Como se pode verificar pelo Gráfico 5, apenas um ponto se encontra fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 97% dos pontos estão dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 17 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q23

Q23								
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ			
721	Erro Circular		3.876 m		Planimetria		Altimetria	
	CMAS	2.212m	LMAS	2.512m	EMQ	1.424m	EMQ	2.151m
	Factor Correção CMAS	2.126m	Factor Correção LMAS	2.415m	Tolerâncias			
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0				
					N.º Pontos > 2.3m	46	N.º Pontos > 3m	54

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q23 (Tabela 17), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 94% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.425 metros. Em termos de altimetria, verifica-se que 93% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 2.152 metros.

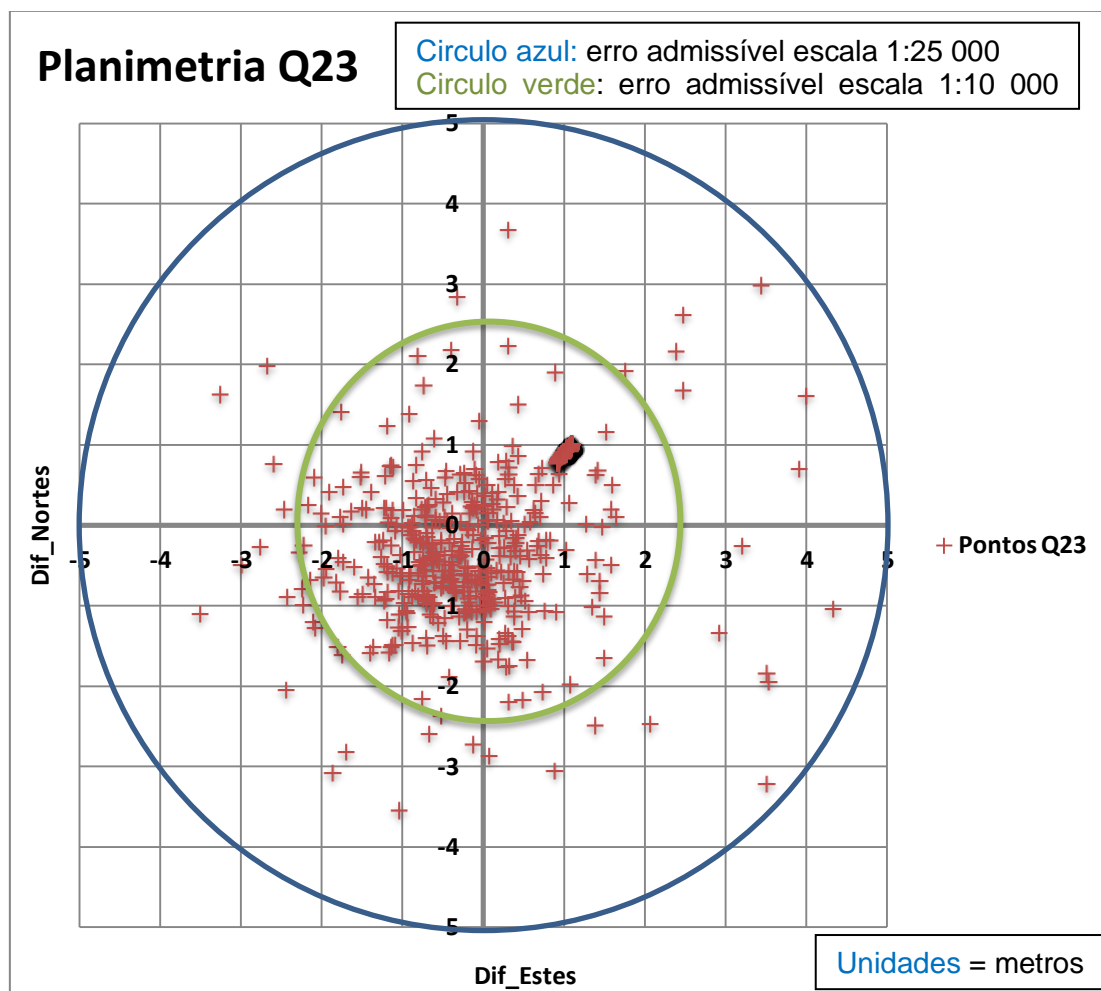


Gráfico 6 – Planimetria dos pontos do quadrado Q23

Como se pode verificar pelo Gráfico 6, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 94% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 18 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q31

Q31							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
634	Erro Circular	3.076 m			Planimetria	Altimetria	
	CMAS	2.069m	LMAS	5.038m	EMQ	1.437m	EMQ 3.298m
	Factor Correção CMAS	1.989m	Factor Correção LMAS	4.842m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	1	N.º Pontos > 2.3m	31	N.º Pontos > 3m 368

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q31 (Tabela 18), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 95% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.437 metros. Em termos de altimetria, verifica-se um decréscimo na precisão em que 42% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 3.298 metros.

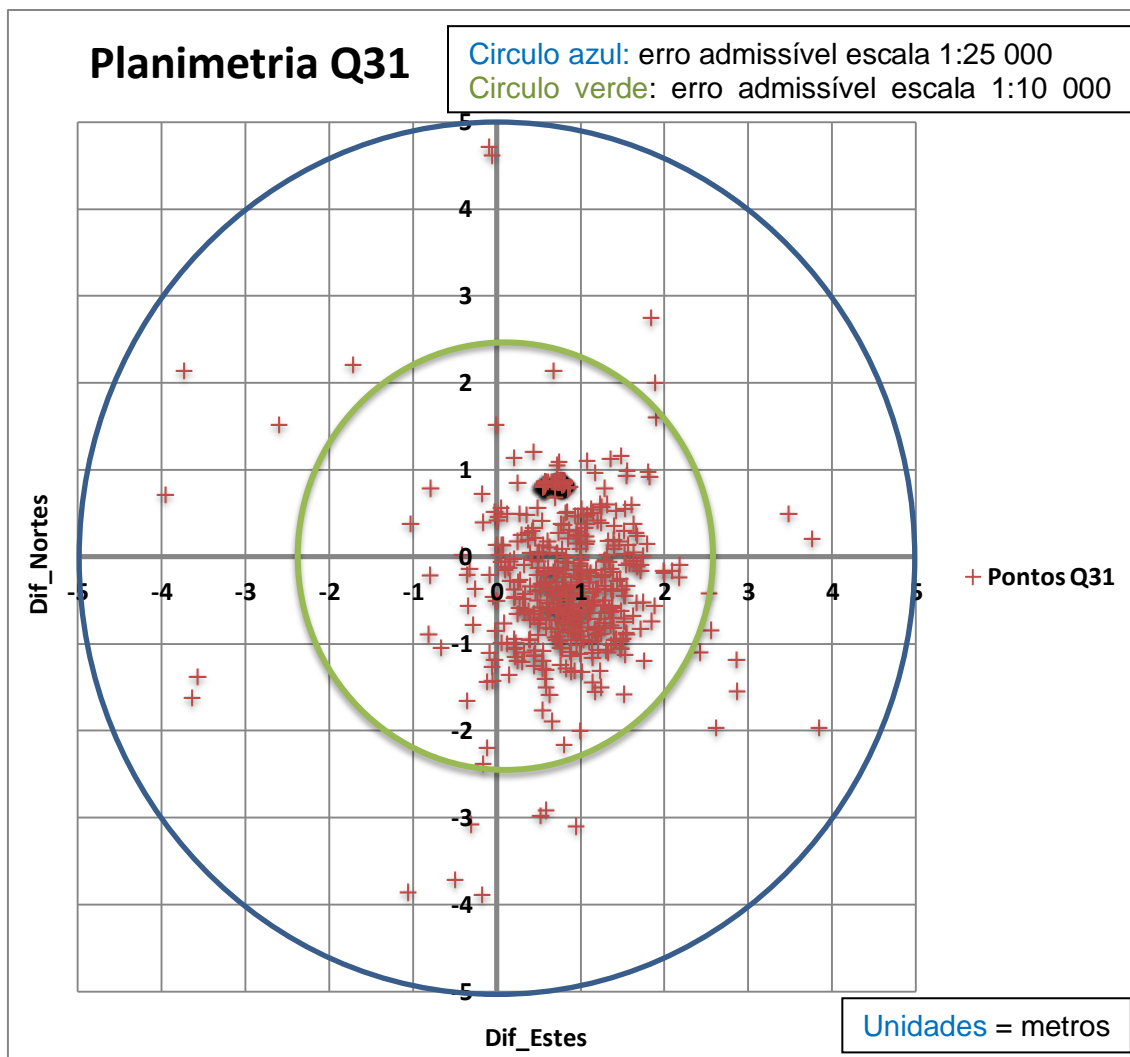


Gráfico 7 – Planimetria dos pontos do quadrado Q31

Como se pode verificar pelo Gráfico 7, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 95% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 19 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q32

Q32							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
377	Erro Circular		3.206 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	2.355m	LMAS	3.998m	EMQ	1.586m	EMQ 3.063m
	Factor Correção CMAS	2.263m	Factor Correção LMAS	3.842m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	1			
					N.º Pontos > 2.3m	21	N.º Pontos > 3m 181

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q32 (Tabela 19), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 94% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.586 metros. Em termos de altimetria, verifica-se uma precisão em que 52% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 3.063 metros.

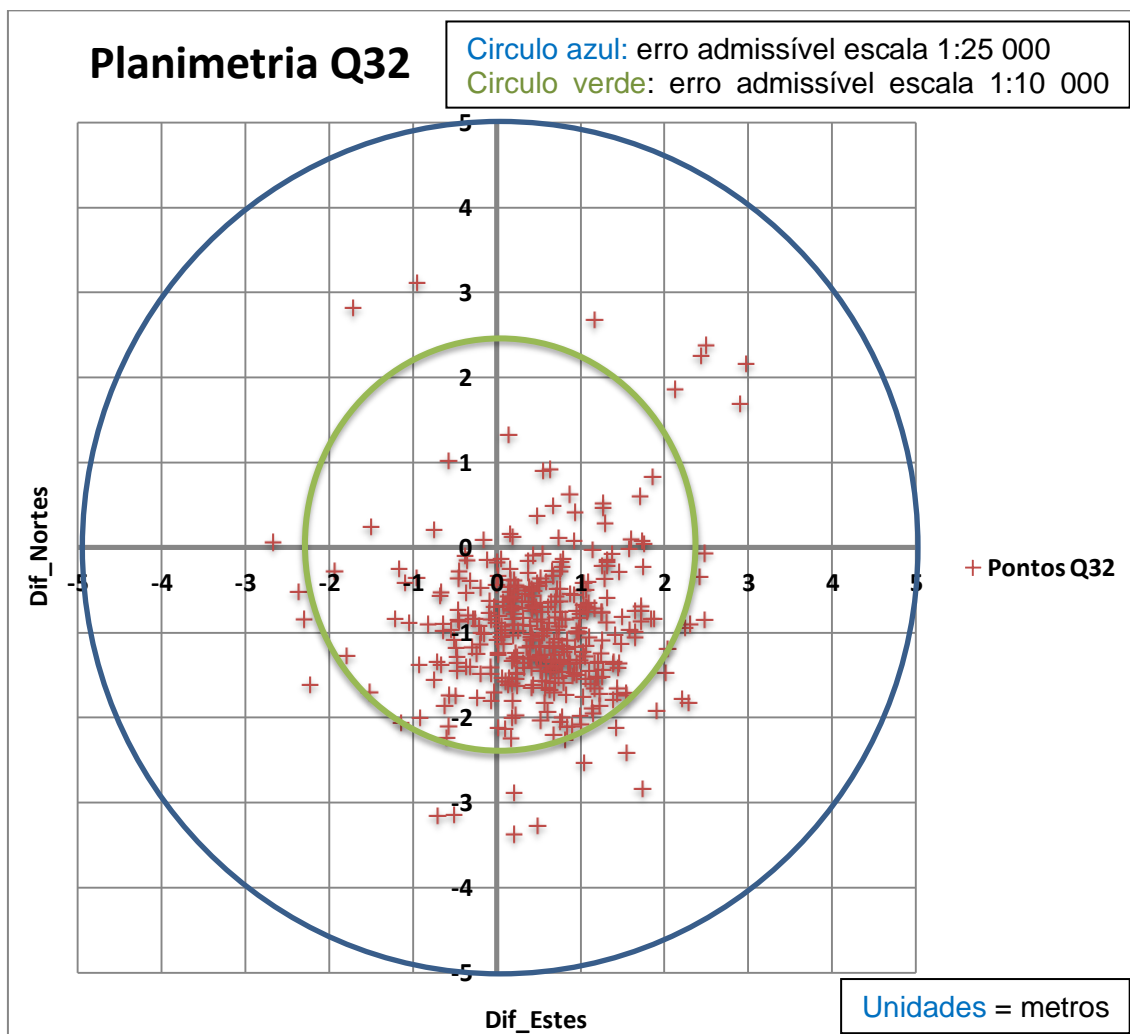


Gráfico 8 – Planimetria dos pontos do quadrado Q32

Como se pode verificar pelo Gráfico 8, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 94% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 20 – Resultados da comparação de restituições no quadrado Q33

Q33							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
93	Erro Circular		3.729 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	2.726m	LMAS	3.972m	EMQ	1.838m	EMQ 3.199m
	Factor Correção CMAS	2.62m	Factor Correção LMAS	3.812m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	1			
					N.º Pontos > 2.3m	12	N.º Pontos > 3m 64

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q33 (Tabela 20), pode-se verificar que em termos de planimetria a precisão baixa ligeiramente relativamente ao observado nos outros quadrados, em que cerca de 87% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.838 metros. Em termos de altimetria, verifica-se novamente um decréscimo na precisão em que 31% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 3.196 metros.

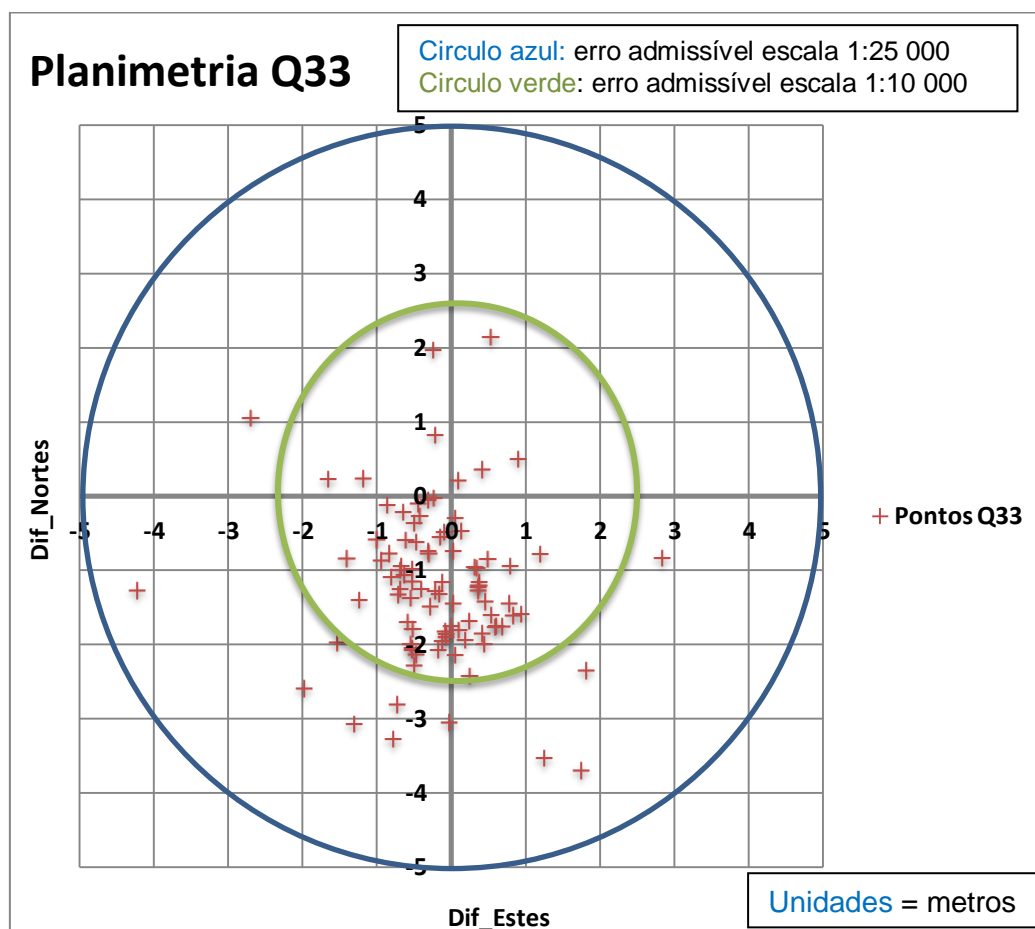


Gráfico 9 – Planimetria dos pontos do quadrado Q33

Como se pode verificar pelo Gráfico 9, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 87% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Na Figura 40, é apresentada uma visão geral dos resultados obtidos por quadrados, em termos de precisão.

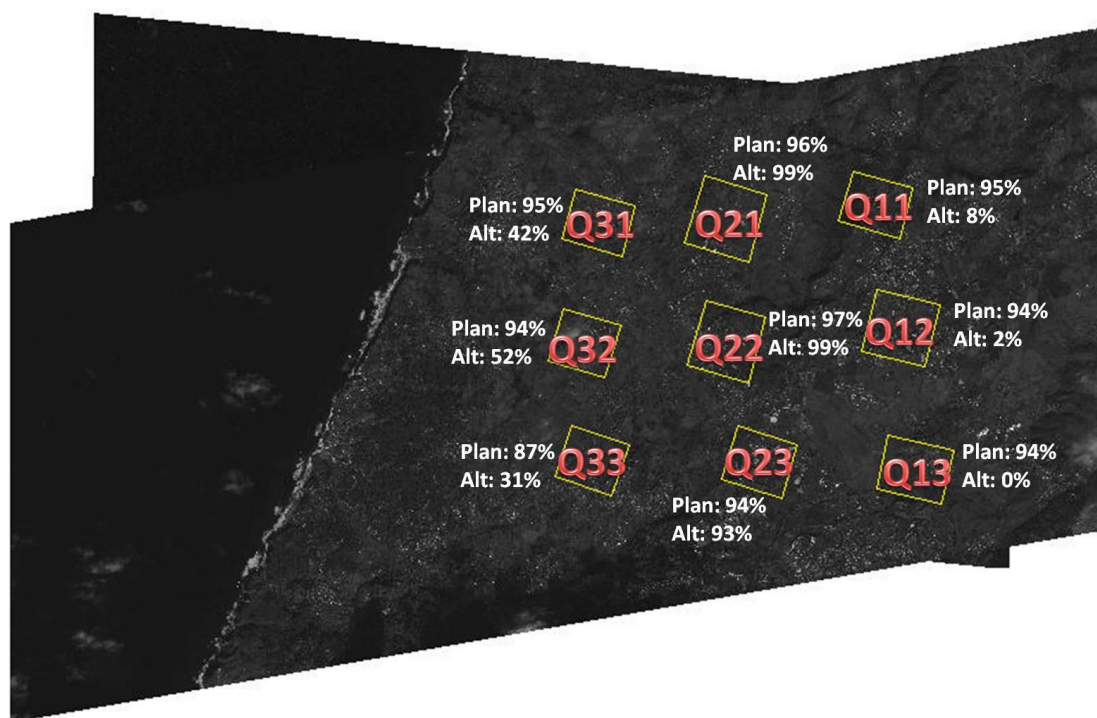


Figura 40 – Resultados na comparação entre restituições

De uma forma geral, verifica-se que em termos de planimetria os resultados são consistentes e satisfatórios, tendo-se obtido o pior resultado no quadrado Q33 com 87% dos pontos comparados dentro dos 2.3 metros de tolerância.

Em termos de altimetria, os resultados não são nada satisfatórios pois em termos gerais temos percentagens relativamente baixas. Nos quadrados Q11, Q12 e Q13, é onde estas são piores. Isto poderá ser devido ao facto da localização das mesmas ser demasiado afastada do centro da imagem onde se prevê que a orientação seja melhor. No entanto, deveria ter melhores resultados uma vez que essas zonas estão mais perto da zona onde foram identificados os GCP's.

Na Tabela 21 e Gráfico 10, são apresentados os resultados da área restituída como um todo.

Tabela 21 – Resultados da comparação de restituições na área total de restituição

Área Total							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
5345	Erro Circular		4.439 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	2.151m	LMAS	6.45m	EMQ	1.418m	EMQ 3.917m
	Factor Correção CMAS	2.143m	Factor Correção LMAS	6.342m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2	N.º Pontos > 2.3m	283	N.º Pontos > 3m 2914

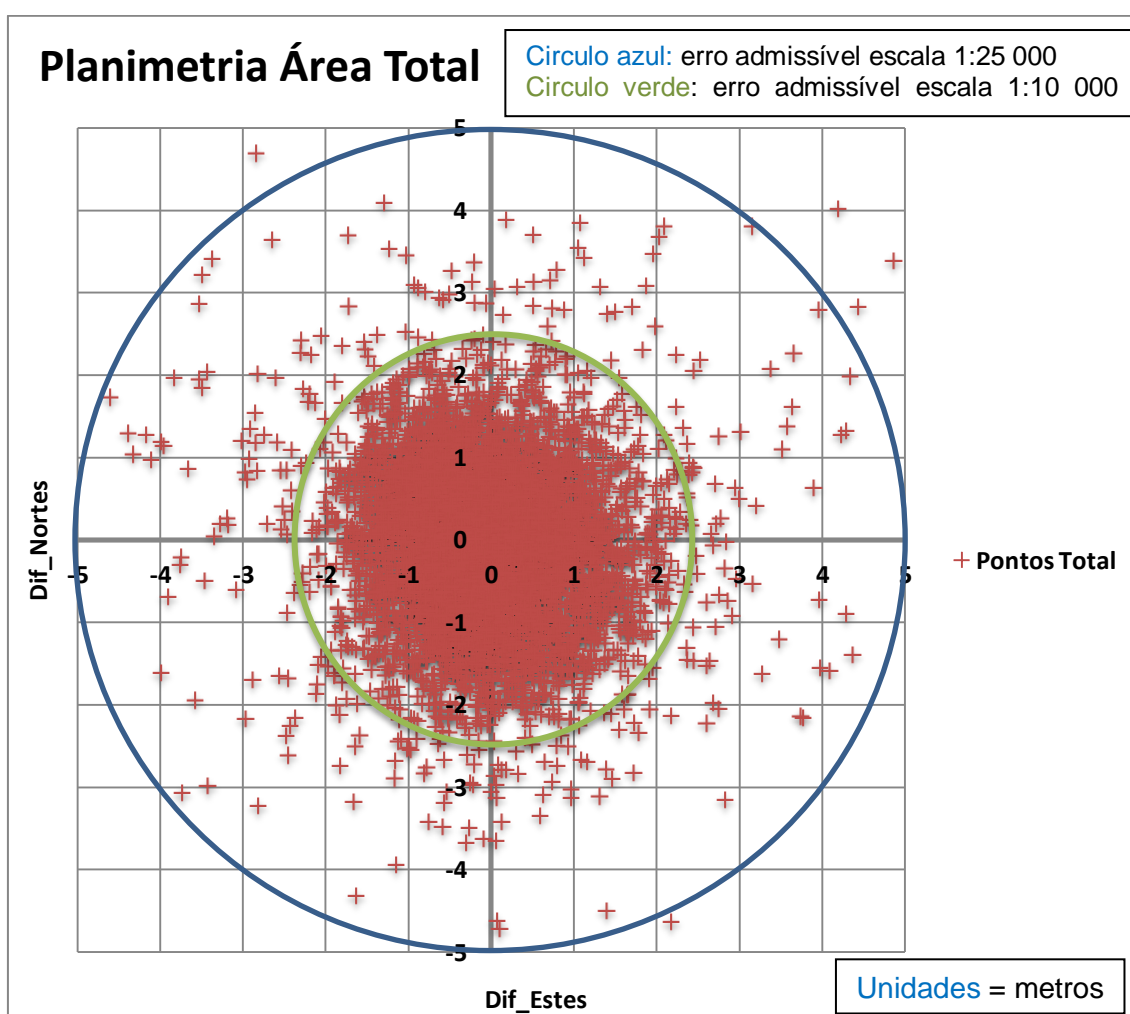


Gráfico 10 – Planimetria dos pontos da área total restituída

Neste caso, pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 95% do total de pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.418 metros. Em termos de altimetria, os resultados não são muito bons pois apenas 45% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 3.917 metros.

5.3.2 Validação com pontos GNSS

De modo a cumprir o estipulado no STANAG 2215, foi planeado para a segunda campanha de campo a ocupação 26 estações com a estação TPS, onde se iria recolher o máximo de pontos possíveis. Aqui o condicionamento, seria que no mínimo fosse possível fazer o levantamento de 10 pontos em cada posição, de modo a obter uma margem de segurança superior a 10% do total de pontos restituídos.

De modo a se ter uma amostra significativa de dados para a validação, definiu-se que a amostra de pontos a comparar deveria ser de cerca de 10% da área restituída, abrangendo as 9 zonas em análise. Como neste projecto, estamos a referir-nos a pontos restituídos tendo sido restituídos um total de 5345 pontos, assim a amostra deveria ter cerca de 535 pontos.

Isto em termos de campanha de campo implicaria um grande acréscimo no tempo e custos da operação. Logo para não se ficar muito afastado do pretendido, a campanha de campo foi realizada em 4 dias, tendo-se aproveitado um mínimo de 379 pontos, o que perfaz 7% da totalidade de pontos restituídos.

Nesta segunda campanha de campo foram ocupadas 23 estações com a estação TPS e foram usados 46 pontos de orientação medidos em modo RTK com correcções fornecidas pela rede SERVIR. Isto pois a orientação da estação TPS foi executada por intersecção inversa a partir desses pontos e todos os pontos medidos eram beirais dos telhados bem visíveis e apenas os que foram restituídos a partir da imagem de satélite.

O resultado final dessa campanha de campo, foi o levantamento de um total de 556 pontos. Em que foram usados 395 pontos para a validação da restituição a partir de imagem de satélite e 379 pontos para a validação da restituição por fotografia aérea.

5.3.2.1 Restituição a partir de imagem de satélite

Nesta fase foram calculados os erros planimétrico e altimétrico, através da comparação entre as coordenadas da restituição a partir de imagem de satélite e as coordenadas obtidas na segunda campanha de campo. Este procedimento foi executado de acordo com os dois métodos anteriormente referidos: o STANAG 2215 e o EMQ estabelecido para a cartografia 1:10 000 da DGT.

Como já foi referido, foram usados 395 pontos para efectuar esta validação, apresentando-se os resultados relativamente a cada quadrado nas tabelas e gráficos correspondentes.

Tabela 22 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q11

Q11							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
26	Erro Circular		6.93 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	4.973m	LMAS	5.117m	EMQ	3.321m	EMQ 4.136m
	Factor Correção CMAS	5.914m	Factor Correção LMAS	6.085m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2	N.º Pontos > 2.3m	10	N.º Pontos > 3m 23

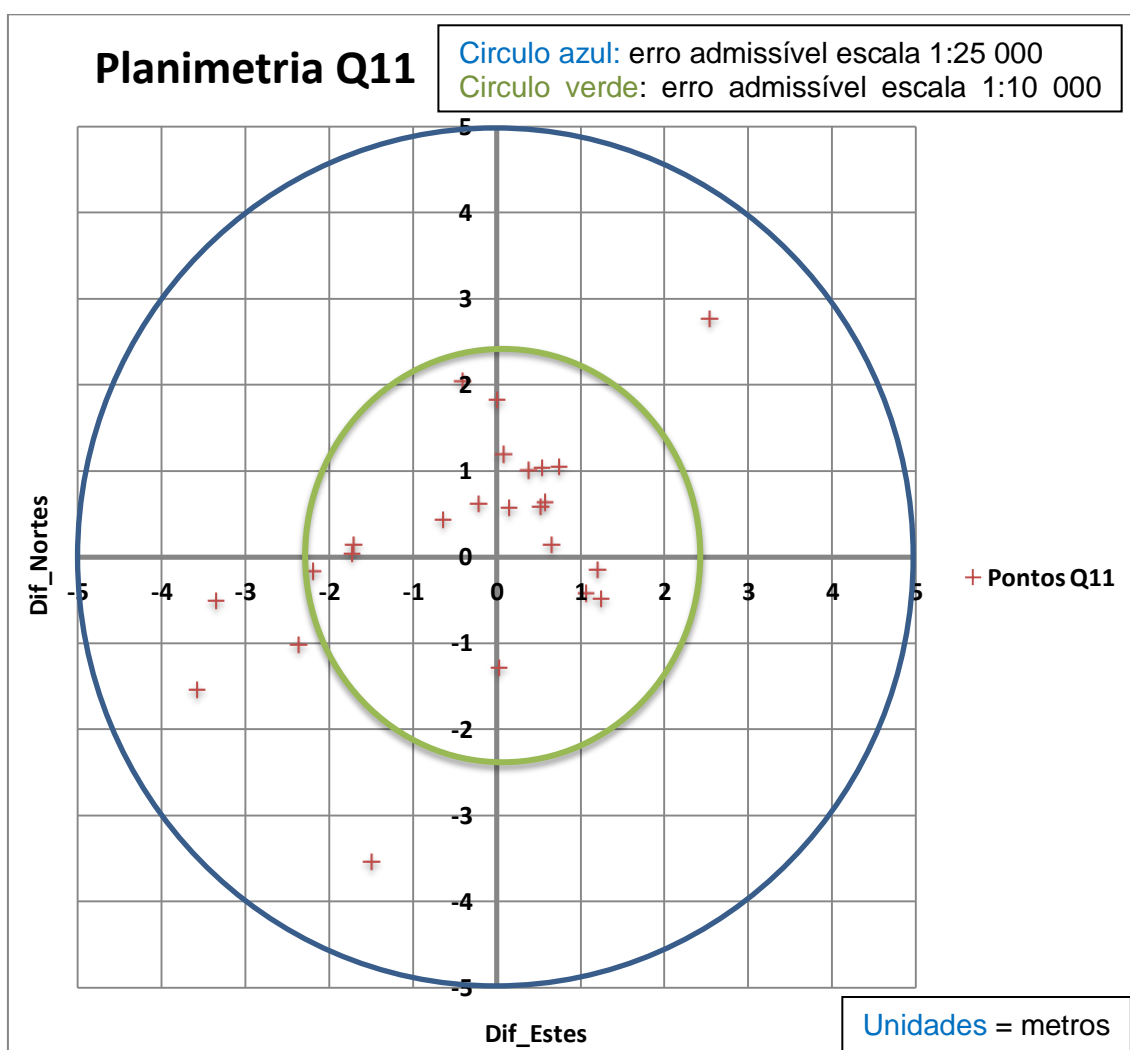


Gráfico 11 – Planimetria dos pontos do quadrado Q11

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q11 (Tabela 22), pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 62% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 3.321 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são bem piores, verificando-se que apenas 12% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 4.136 metros.

Tabela 23 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q12

Q12							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
75	Erro Circular		4.532 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	3.015m	LMAS	6.041m	EMQ	1.984m	EMQ 4.639m
	Factor Correção CMAS	3.174m	Factor Correção LMAS	6.359m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2	N.º Pontos > 2.3m	1	N.º Pontos > 3m 26

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q12 (Tabela 23), pode-se verificar que em termos de planimetria 99% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.984 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são piores, verificando-se que 65% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 4.639 metros.

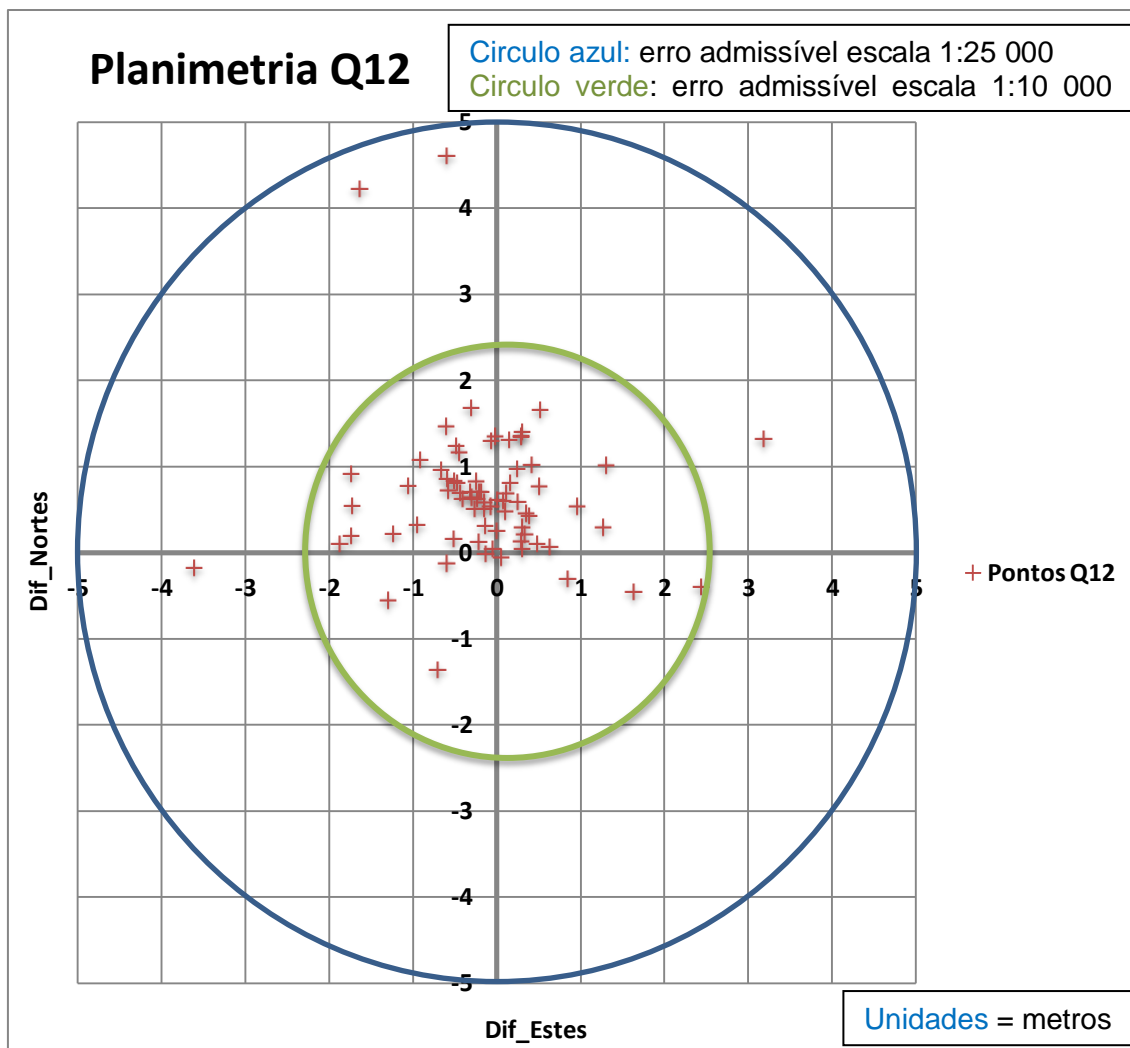


Gráfico 12 – Planimetria dos pontos do quadrado Q12

Como se pode verificar pelo Gráfico 12, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e 99% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 24 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q13

Q13							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
48	Erro Circular		1.269 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.582m	LMAS	2.252m	EMQ	1.167m	EMQ 1.38m
	Factor Correção CMAS	1.735m	Factor Correção LMAS	2.47m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	0	N.º Pontos > 3m 1

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q13 (Tabela 24), pode-se verificar que em termos de planimetria todos os pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.167 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados também são muito bons, verificando-se que 98% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.38 metros.

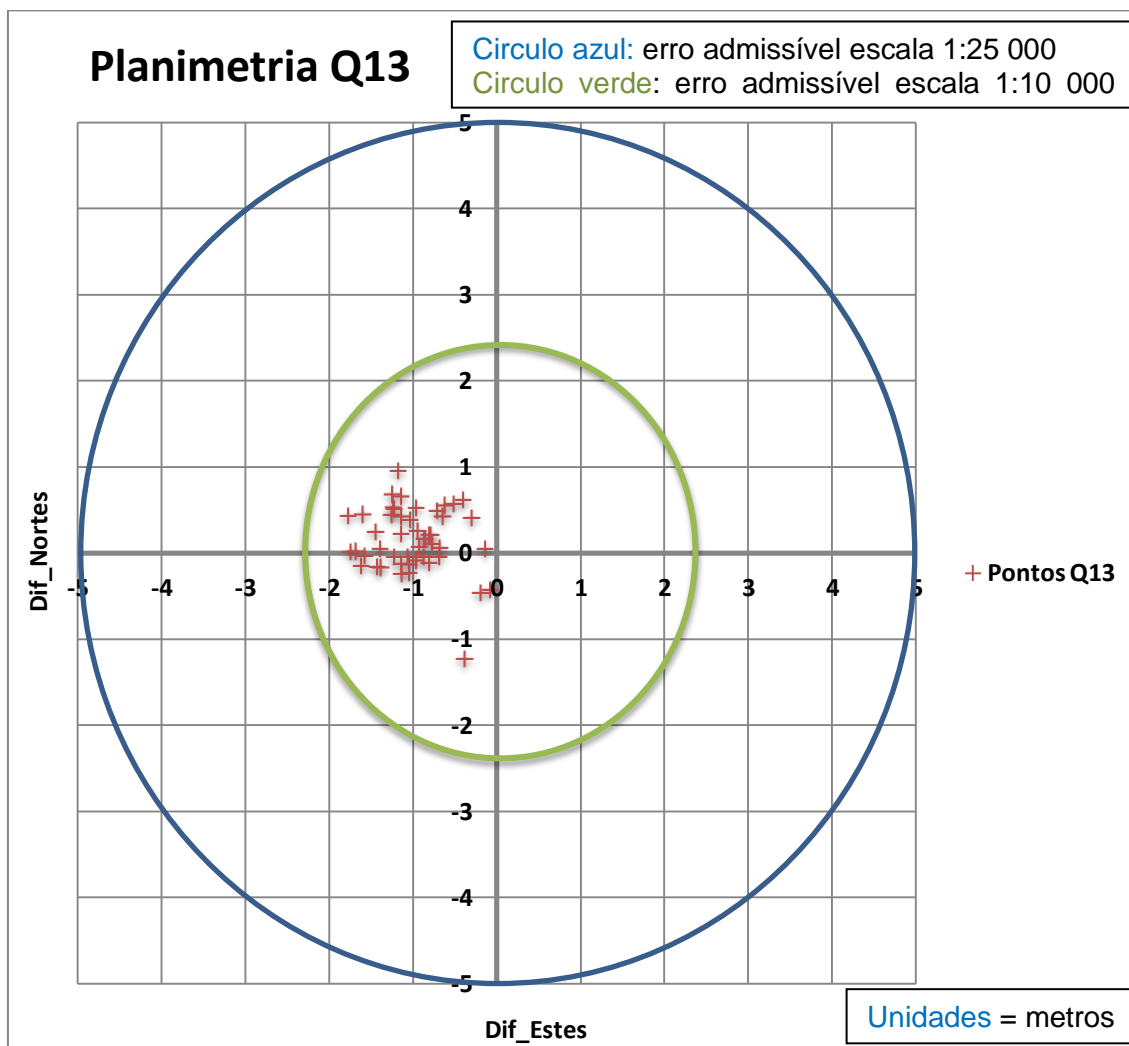


Gráfico 13 – Planimetria dos pontos do quadrado Q13

Como se pode verificar pelo Gráfico 13, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 25 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q21

Q21							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
43	Erro Circular		2.456 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.859m	LMAS	1.617m	EMQ	1.227m	EMQ 1.022m
	Factor Correção CMAS	2.064m	Factor Correção LMAS	1.796m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0			
					N.º Pontos > 2.3m	3	N.º Pontos > 3m 0

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q21 (Tabela 25), pode-se verificar que em termos de planimetria 93% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.227 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são óptimos, verificando-se que todos os pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.022 metros.

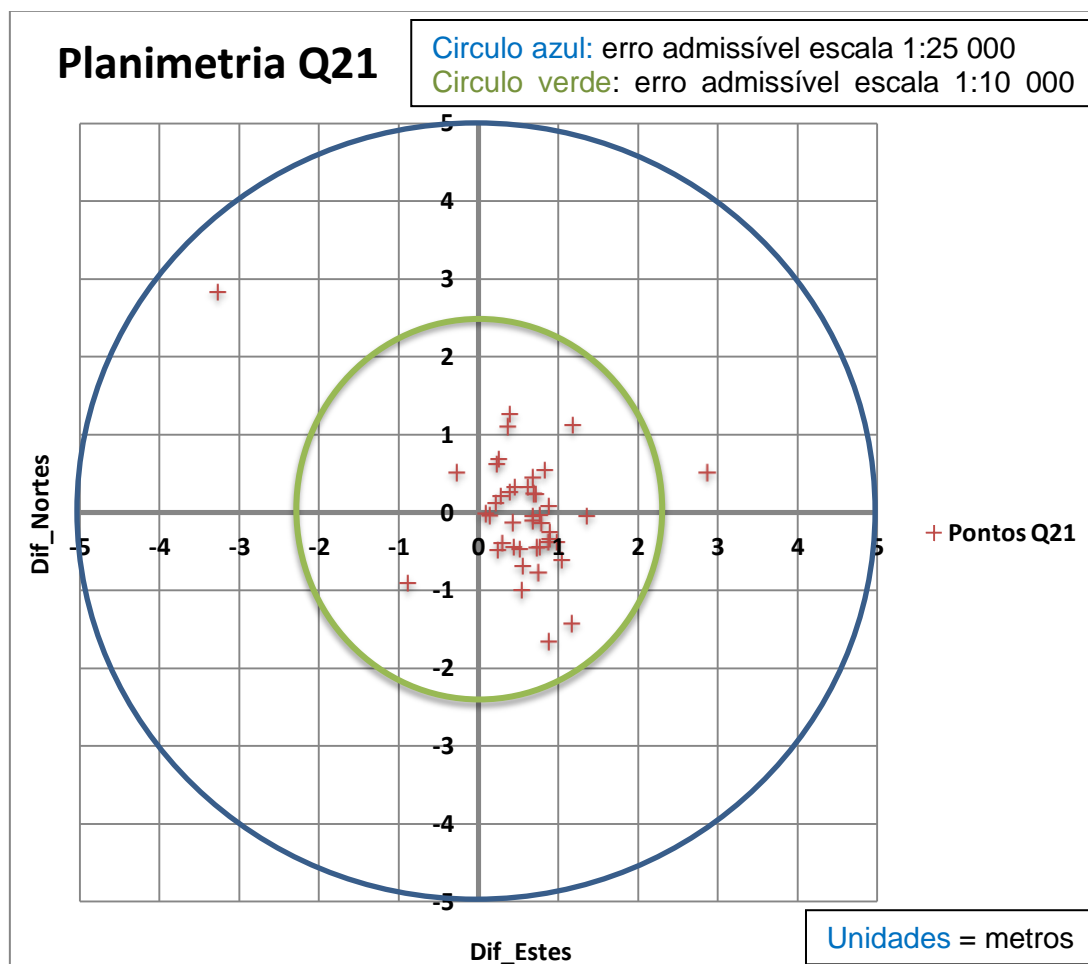


Gráfico 14 – Planimetria dos pontos do quadrado Q21

Como se pode verificar pelo Gráfico 14, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 93% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 26 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q22

Q22							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
56	Erro Circular		2.049 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.509m	LMAS	1.553m	EMQ	0.995m	EMQ 1.024m
	Factor Correção CMAS	1.629m	Factor Correção LMAS	1.678m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	1	N.º Pontos > 3m 0

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q22 (Tabela 26), pode-se verificar que em termos de planimetria 98% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 0.995 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são ótimos, verificando-se que todos os pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.024 metros.

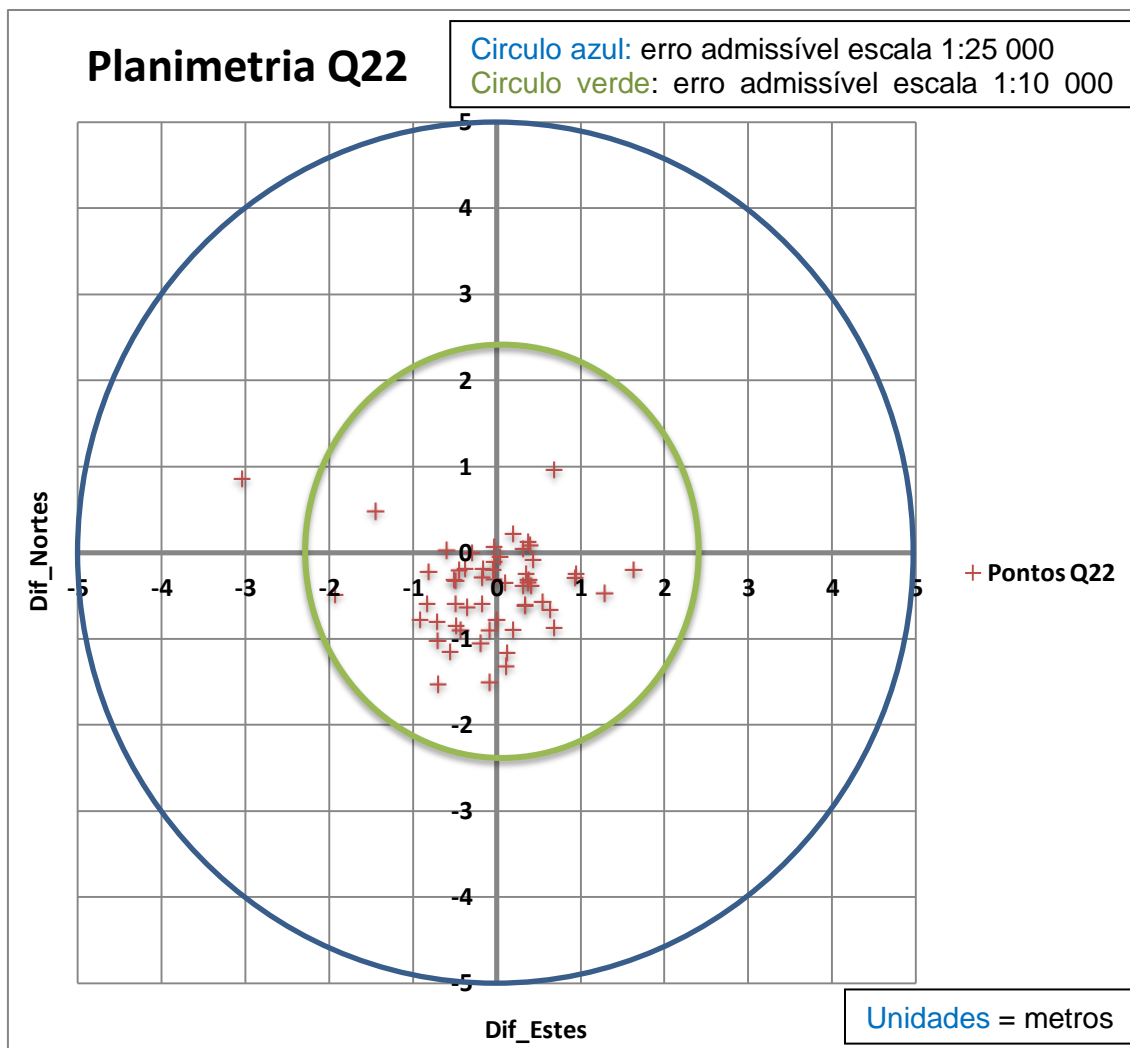


Gráfico 15 – Planimetria dos pontos do quadrado Q22

Como se pode verificar pelo Gráfico 15, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 98% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 27 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q23

Q23							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
69	Erro Circular		3.116 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	2.295m	LMAS	1.903m	EMQ	1.516m	EMQ 1.176m
	Factor Correção CMAS	2.433m	Factor Correção LMAS	2.017m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	3	N.º Pontos > 3m 1

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q22 (Tabela 27) pode-se verificar que em termos de planimetria 96% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.516 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados também são muito bons, verificando-se que 99% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.176 metros.

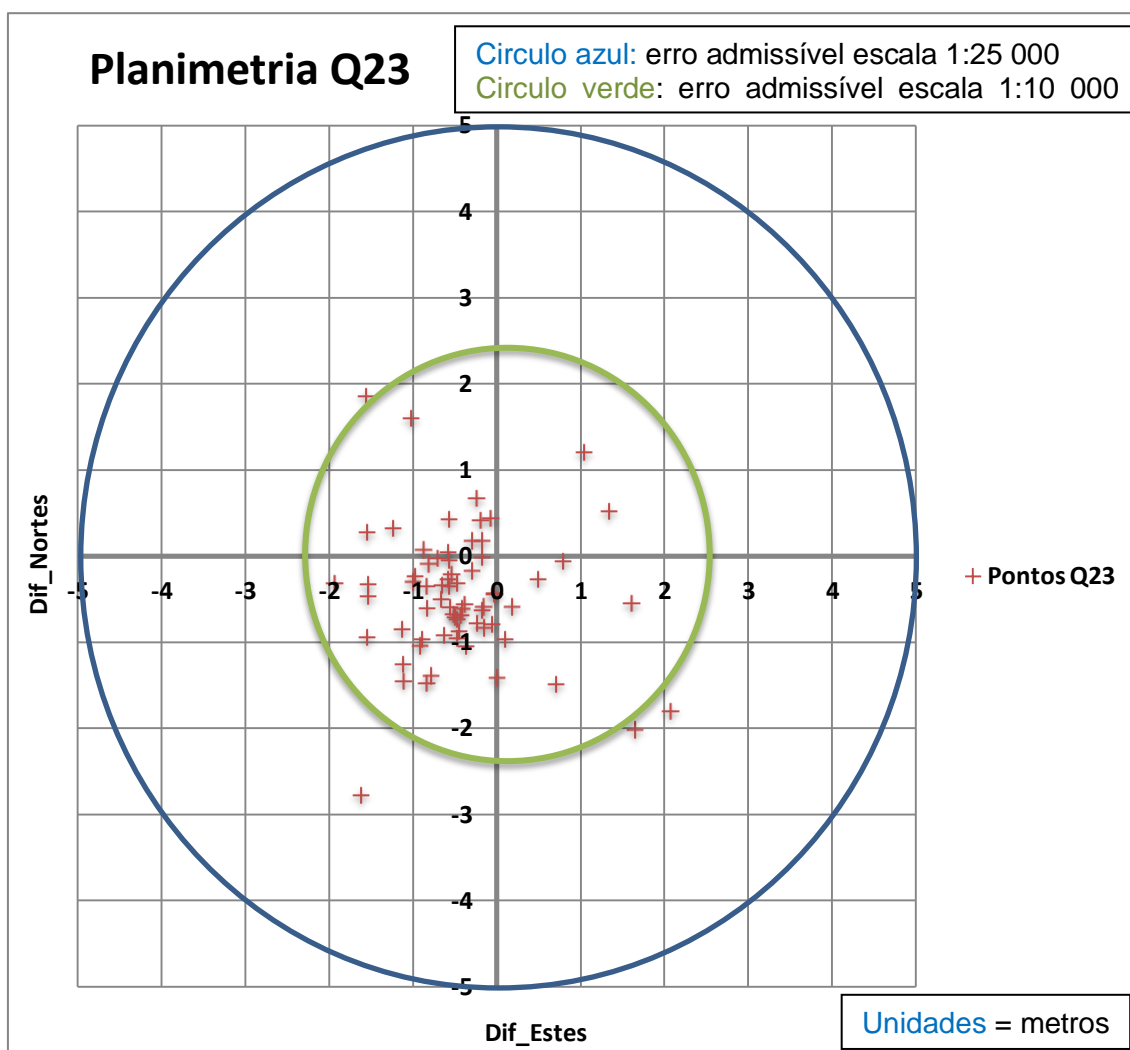


Gráfico 16 – Planimetria dos pontos do quadrado Q23

Como se pode verificar pelo Gráfico 16, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 96% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 28 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q31

Q31							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
31	Erro Circular		4.044 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	3.146m	LMAS	5.175m	EMQ	2.077m	EMQ 4.239m
	Factor Correção CMAS	3.643m	Factor Correção LMAS	5.992m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2			
					N.º Pontos > 2.3m	6	N.º Pontos > 3m 28

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q31 (Tabela 28), pode-se verificar que em termos de planimetria 81% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 2.077 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são piores, verificando-se que apenas 10% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 4.239 metros.

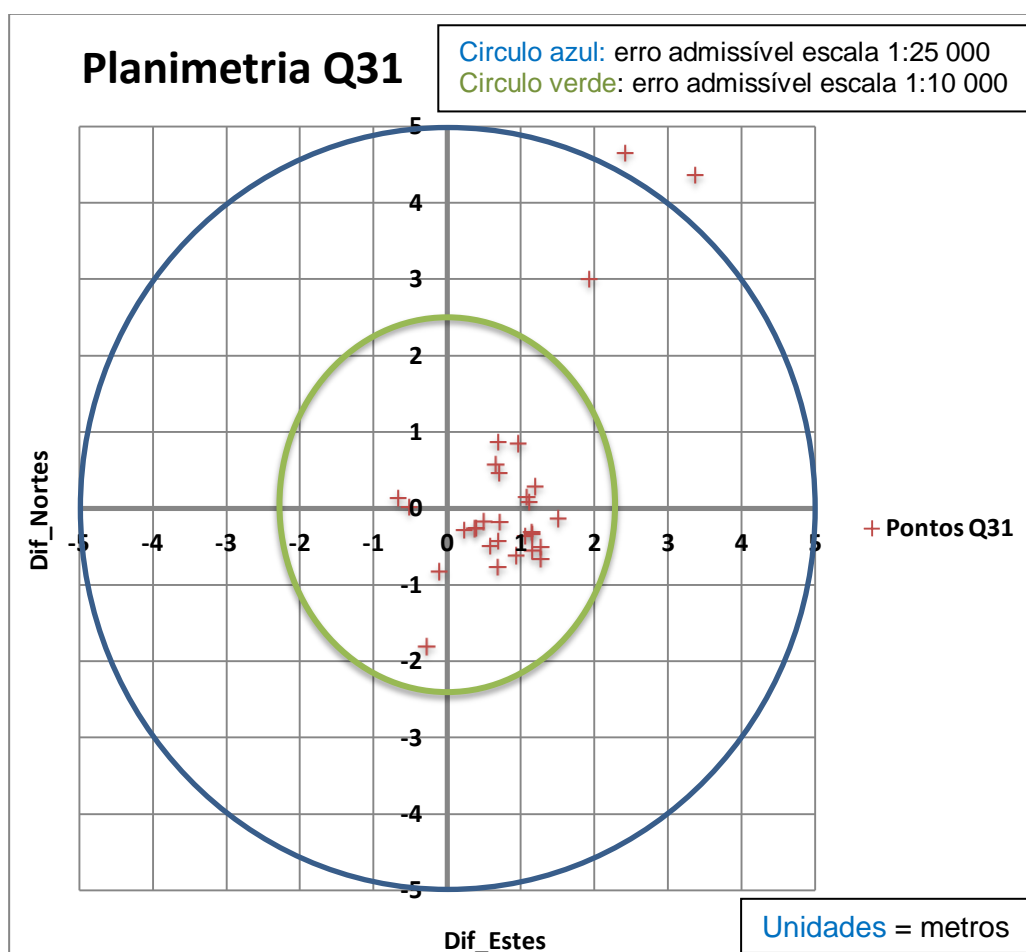


Gráfico 17 – Planimetria dos pontos do quadrado Q31

Como se pode verificar pelo Gráfico 17, dois pontos encontram-se fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 81% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 29 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q32

Q32							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
36	Erro Circular	3.58 m			Planimetria	Altimetria	
	CMAS	3.067m	LMAS	4.942m	EMQ	2.053m	EMQ 4.265m
	Factor Correção CMAS	3.481m	Factor Correção LMAS	5.608m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2	N.º Pontos > 2.3m	6	N.º Pontos > 3m 35

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q32 (Tabela 33), pode-se verificar que em termos de planimetria 83% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 2.053 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são péssimos, verificando-se que apenas 3% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 4.265 metros.

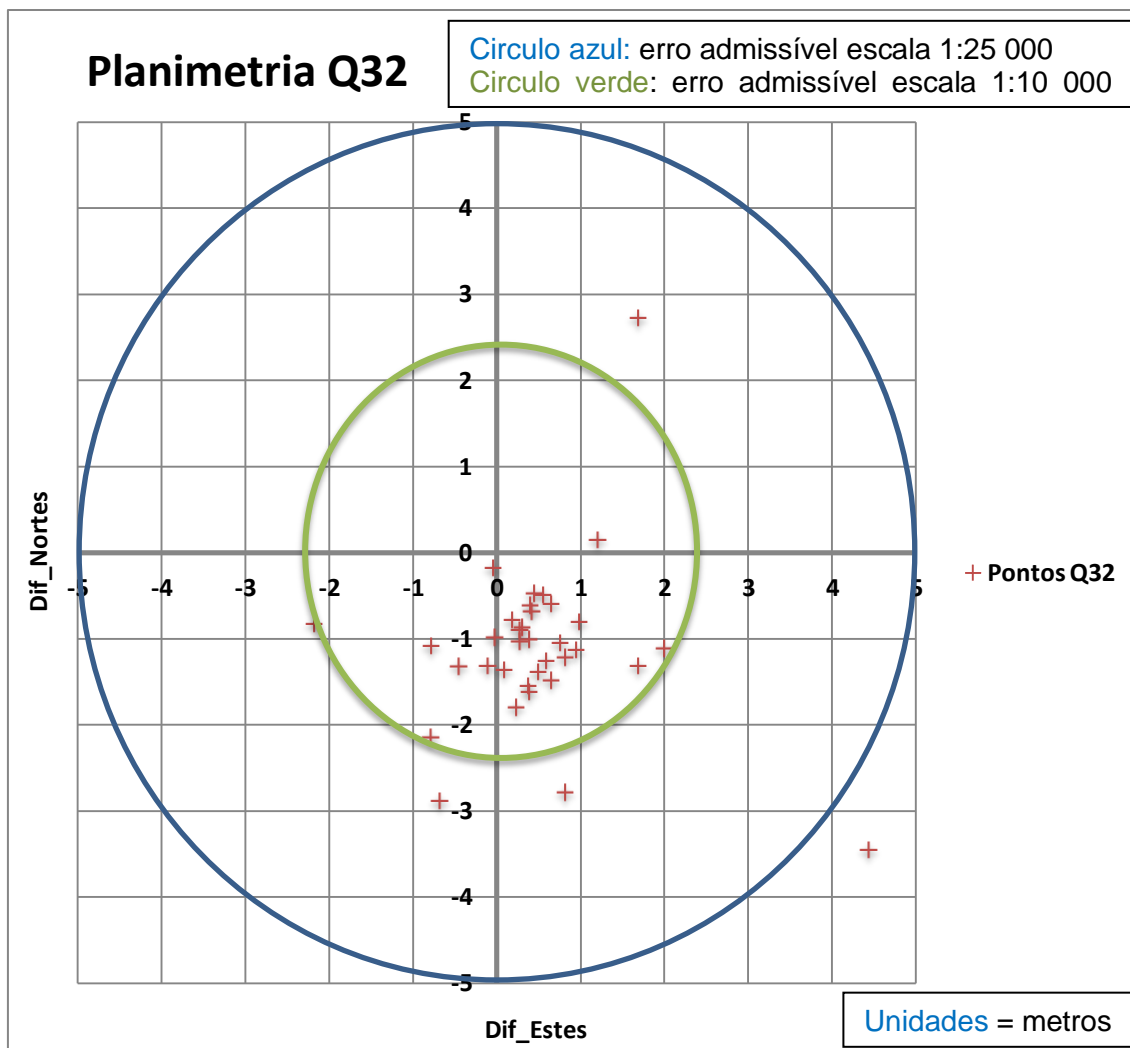


Gráfico 18 – Planimetria dos pontos do quadrado Q32

Como se pode verificar pelo Gráfico 18, um ponto encontra-se fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 83% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 30 – Resultados da validação da restituição satélite no quadrado Q33

Q33							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
11	Erro Circular		3.726 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	2.999m	LMAS	5.854m	EMQ	2.108m	EMQ 5.111m
	Factor Correção CMAS	4.343m	Factor Correção LMAS	8.477m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	2	N.º Pontos > 2.3m	2	N.º Pontos > 3m 11

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q33 (Tabela 30), pode-se verificar que em termos de planimetria 82% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 2.108 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são muito maus pois não se verifica nenhum ponto dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 5.111 metros.

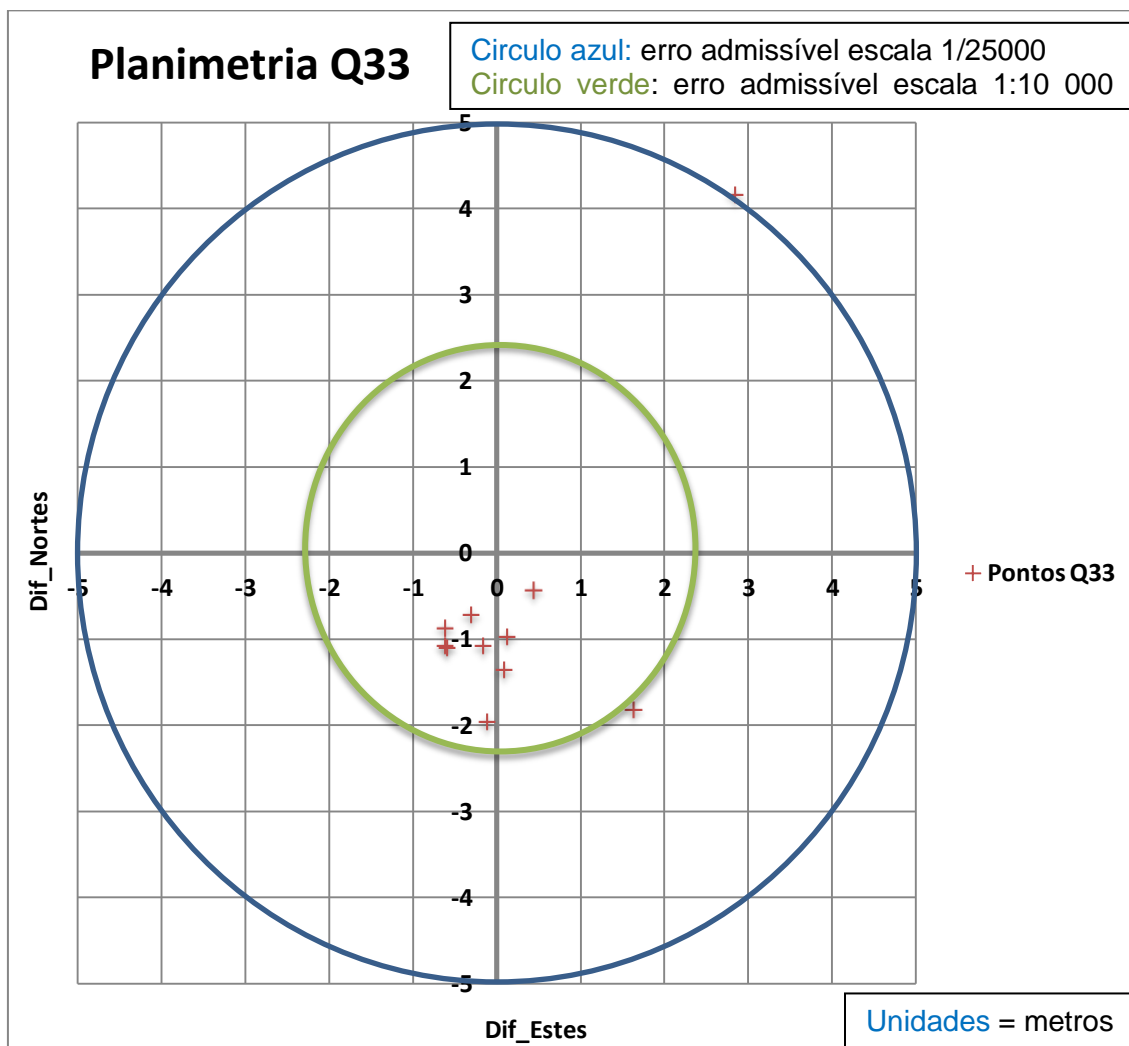


Gráfico 19 – Planimetria dos pontos do quadrado Q33

Como se pode verificar pelo Gráfico 19, um ponto encontra-se fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 82% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Na Figura 41, é apresentada uma visão geral dos resultados obtidos por quadrados, em termos de precisão.

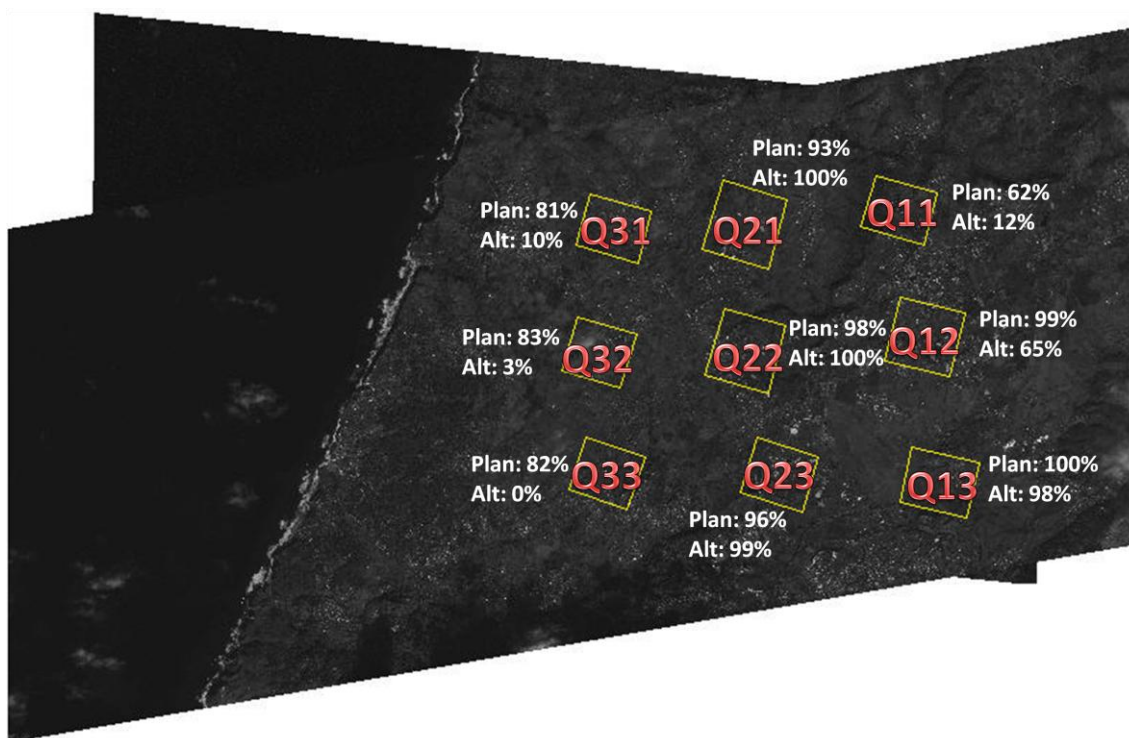


Figura 41 – Resultados na restituição a partir de imagem de satélite

De uma forma geral, verifica-se que em termos de planimetria os resultados são consistentes e satisfatórios, tendo-se obtido o pior resultado no quadrado Q31 com 81% dos pontos comparados dentro dos 2.3 metros de tolerância.

Em termos de altimetria, os resultados não são satisfatórios pois em termos gerais temos percentagens relativamente baixas. Nos quadrados Q31, Q32 e Q33, é onde estas são piores. Isto poderá ser devido ao facto da localização das mesmas ser demasiado afastada da zona onde foram identificados os GCP's para a orientação das imagens.

Na Tabela 31 e Gráfico 20, são apresentados os resultados da área restituída como um todo.

Tabela 31 – Resultados da comparação da restituição satélite na área total de restituição

Área Total								
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ			
395	Erro Circular		4.716 m		Planimetria		Altimetria	
	CMAS	2.678m	LMAS	5.069m	EMQ	1.764m	EMQ	3.082m
	Factor Correção CMAS	2.587m	Factor Correção LMAS	4.897m	Tolerâncias			
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	1	N.º Pontos > 2.3m	39	N.º Pontos > 3m	169

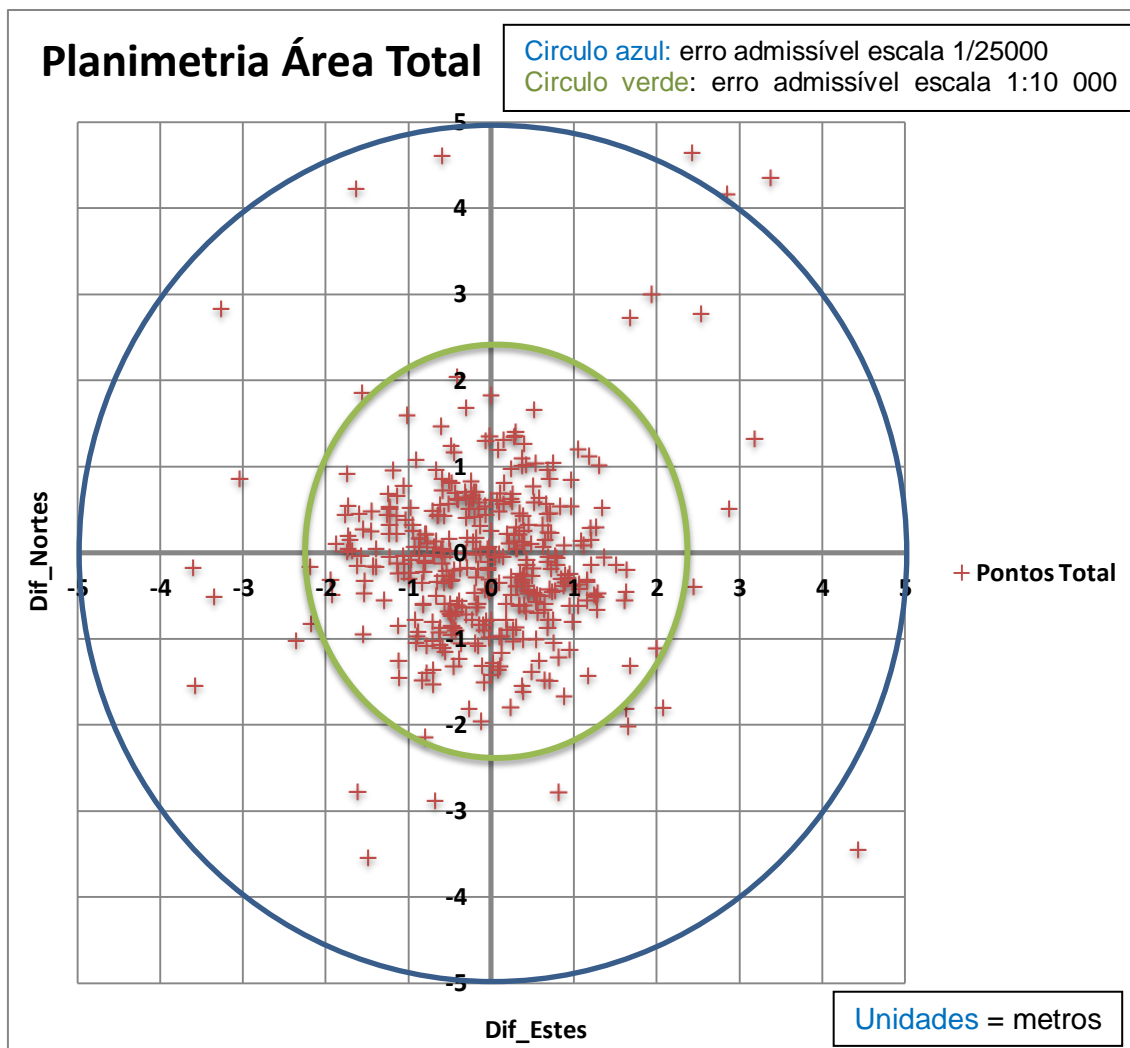


Gráfico 20 – Planimetria dos pontos da área total restituída

Neste caso, pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 90% do total de pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro planimétrico de 1.764 metros. Em termos de altimetria, os resultados não são muito bons pois apenas 57% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro altimétrico de 3.082 metros.

Com o objectivo de verificar a existência de algum tipo de lógica na distribuição planimétrica dos pontos validados com GNSS, foi construída uma imagem com a sobreposição dos gráficos gerados nas respectivas zonas. Assim, da análise da Figura 42, pode-se concluir que na maior parte das 9 zonas estudadas, a localização dos pontos tende a estar nos quadrantes mais próximos da localização dos pontos de orientação e ligação utilizados.

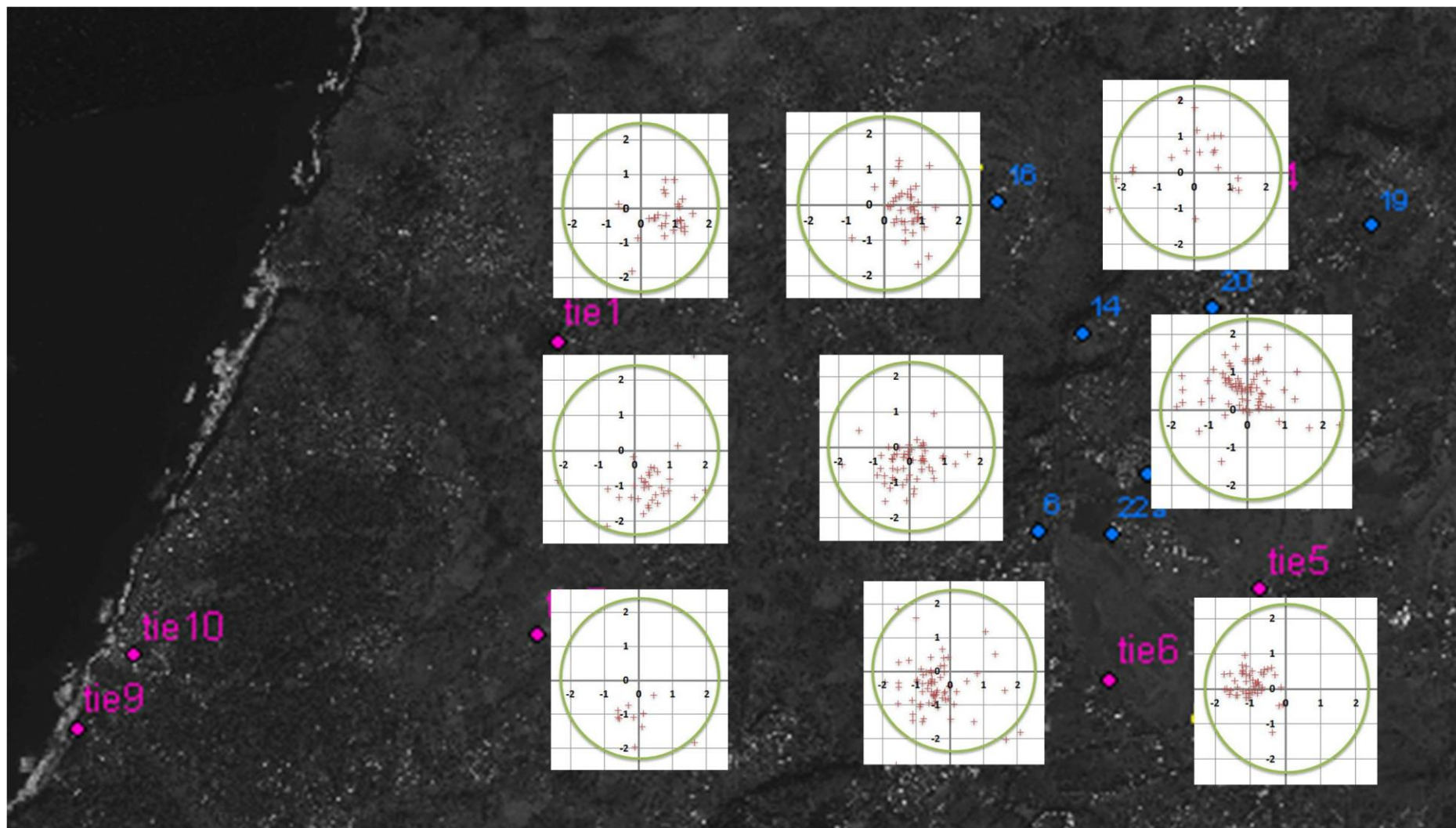


Figura 42 – Distribuição planimétrica da restituição a partir de imagem de satélite validada com GNSS

5.3.2.2 Restituição a partir de fotografia aérea

Este ponto do trabalho foi realizado a título de curiosidade, visto não ser um objectivo directo do trabalho proposto. Nesta fase foram calculados os erros planimétrico e altimétrico, através da comparação entre as coordenadas da restituição a partir de fotografia aérea e as coordenadas obtidas na segunda campanha de campo. Este procedimento foi executado de acordo com os dois métodos anteriormente referidos: o STANAG 2215 e o EMQ estabelecido para a cartografia 1:10 000 da DGT.

Como já foi referido, foram usados 379 pontos para efectuar esta validação, apresentando-se os resultados relativamente a cada quadrado nas tabelas e gráficos correspondentes.

Tabela 32 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q11

Q11							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
24	Erro Circular		4.201 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	3.247m	LMAS	1.606m	EMQ	2.176m	EMQ 0.944m
	Factor Correção CMAS	3.913m	Factor Correção LMAS	1.936m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	7	N.º Pontos > 3m 0

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q11 (Tabela 32) pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 70% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 2.176 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são excelentes, verificando-se que todos os pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 0.944 metros.

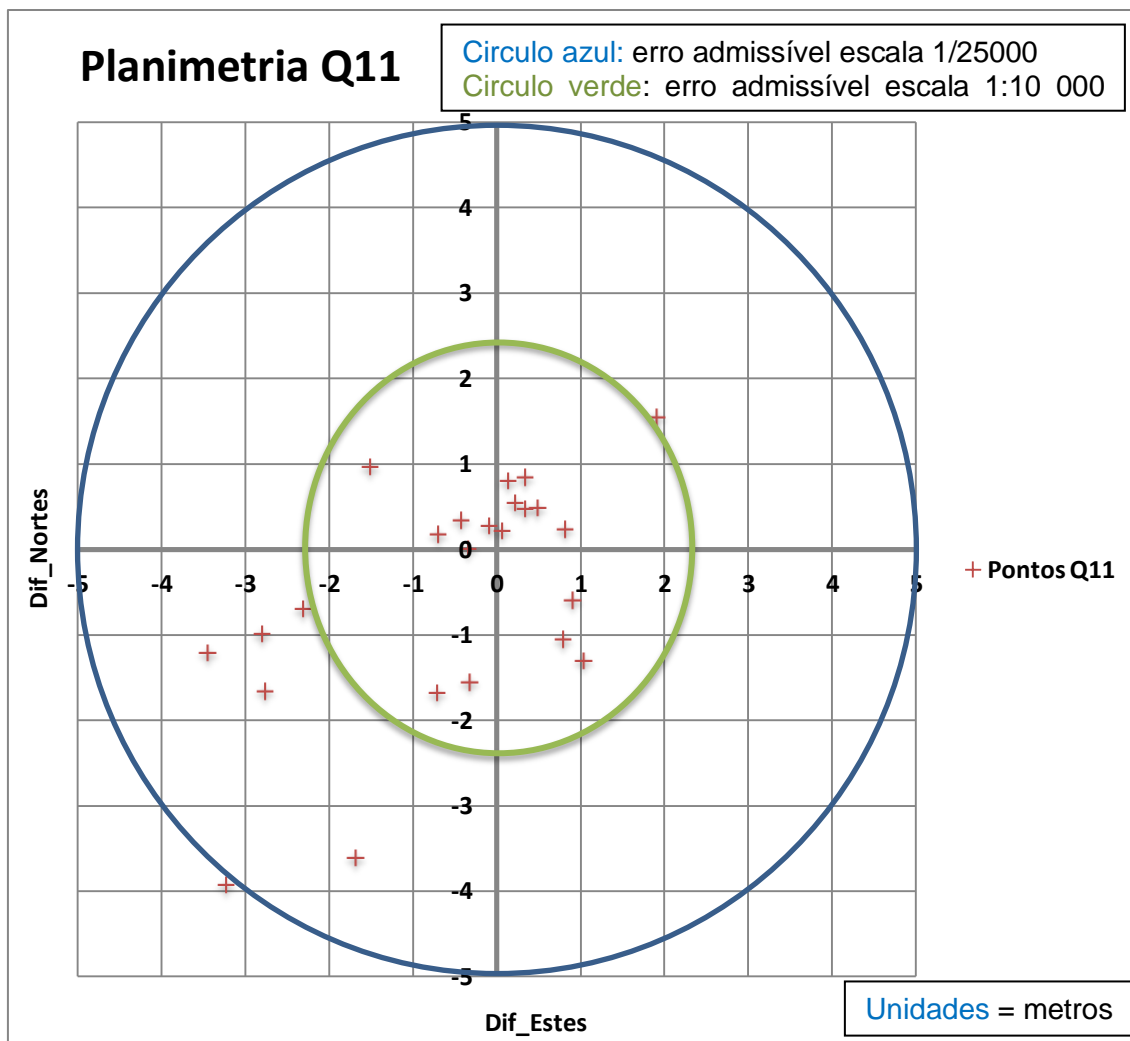


Gráfico 21 – Planimetria dos pontos do quadrado Q11

Como se pode verificar pelo Gráfico 21, um ponto encontra-se fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 62% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 33 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q12

Q12								
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ			
70	Erro Circular		2.995 m		Planimetria		Altimetria	
	CMAS	1.94m	LMAS	2.034m	EMQ	1.286m	EMQ	1.303m
	Factor Correção CMAS	2.054m	Factor Correção LMAS	2.154m	Tolerâncias			
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	1	N.º Pontos > 3m	1

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q12 (Tabela 33), pode-se verificar que tanto em termos de planimetria como altimetria, os resultados são óptimos. Estando 99% dos pontos comparados dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.286 metros e altimétrico de 1.303 metros.

Como se pode verificar pelo Gráfico 22, todos os pontos estão dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

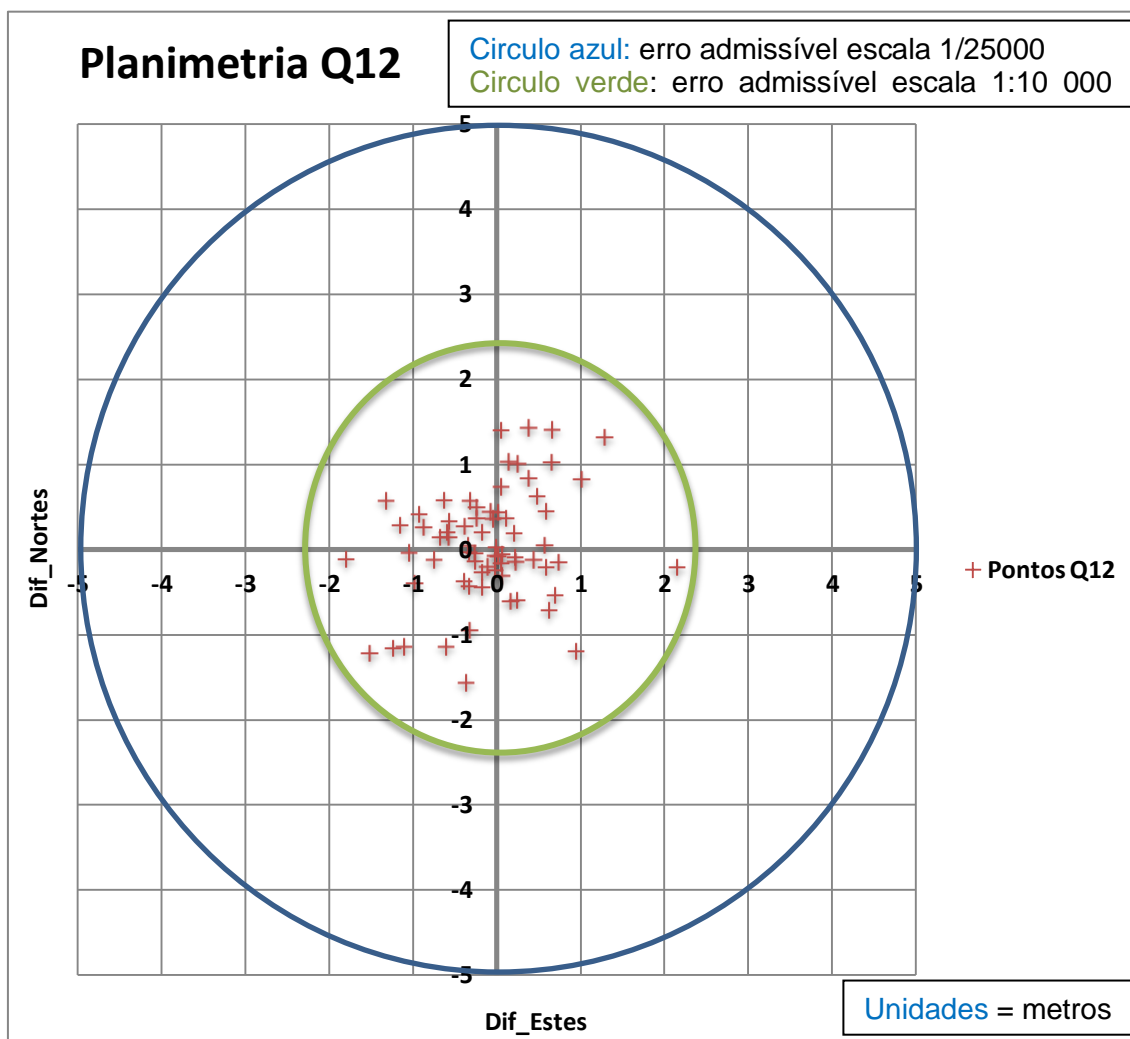


Gráfico 22 – Planimetria dos pontos do quadrado Q12

Tabela 34 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q13

Q13							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
48	Erro Circular		1.555 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.066m	LMAS	1.721m	EMQ	0.702m	EMQ 1.127m
	Factor Correção CMAS	1.169m	Factor Correção LMAS	1.889m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0			
					N.º Pontos > 2.3m	0	N.º Pontos > 3m 0

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q13 (Tabela 34), pode-se verificar que tanto em termos de planimetria como altimetria, todos os pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 0.702 metros e altimétrico de 1.127 metros.

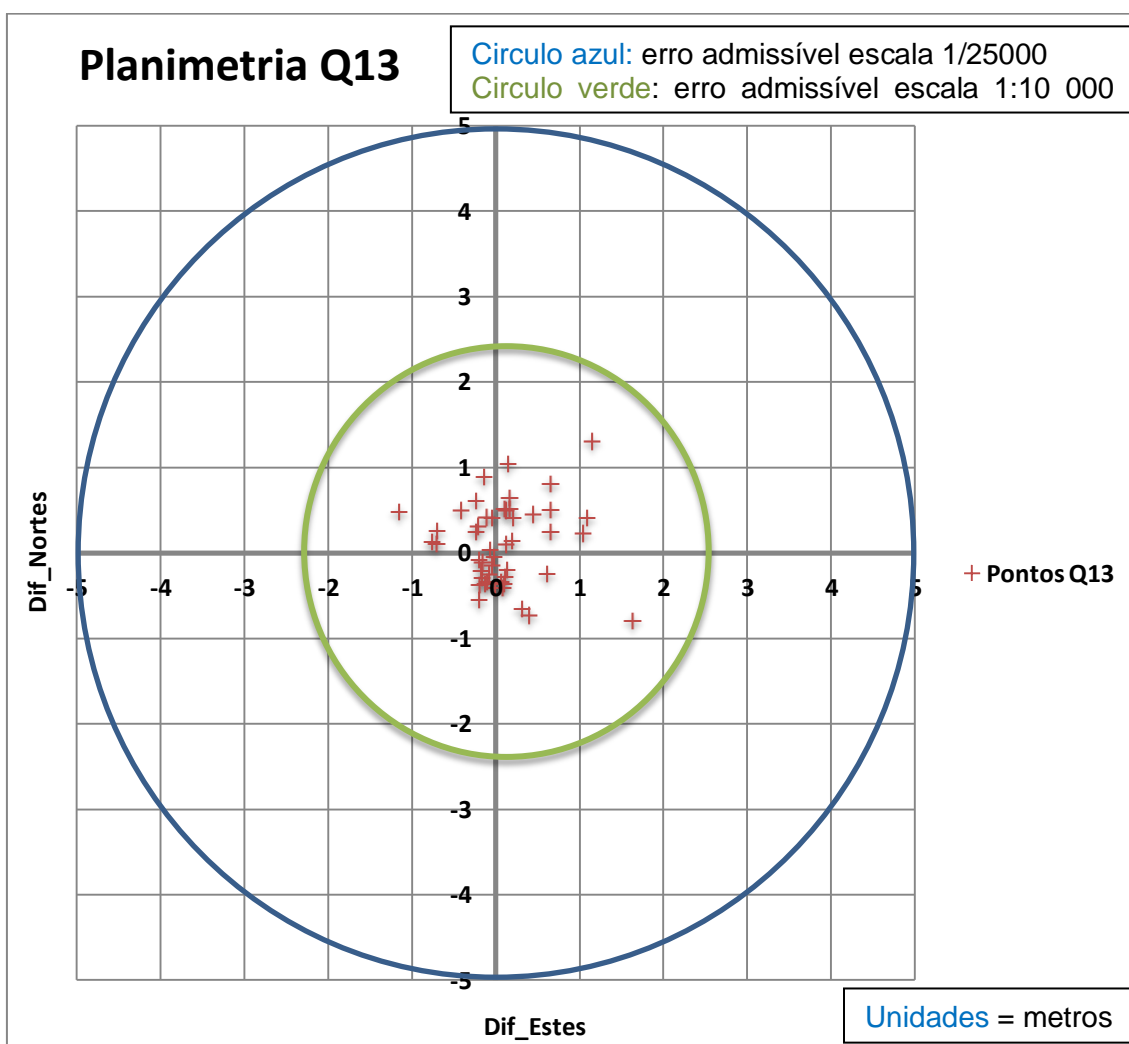


Gráfico 23 – Planimetria dos pontos do quadrado Q13

Como se pode verificar pelo Gráfico 23, todos os pontos estão dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 35 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q21

Q21							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
43	Erro Circular		2.48 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.732m	LMS	1.571m	EMQ	1.14m	EMQ 1.03m
	Factor Correção CMAS	1.923m	Factor Correção LMS	1.745m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	3	N.º Pontos > 3m 0

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q21 (Tabela 35), pode-se verificar que em termos de planimetria 93% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.14 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados são óptimos, verificando-se que todos os pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.03 metros.

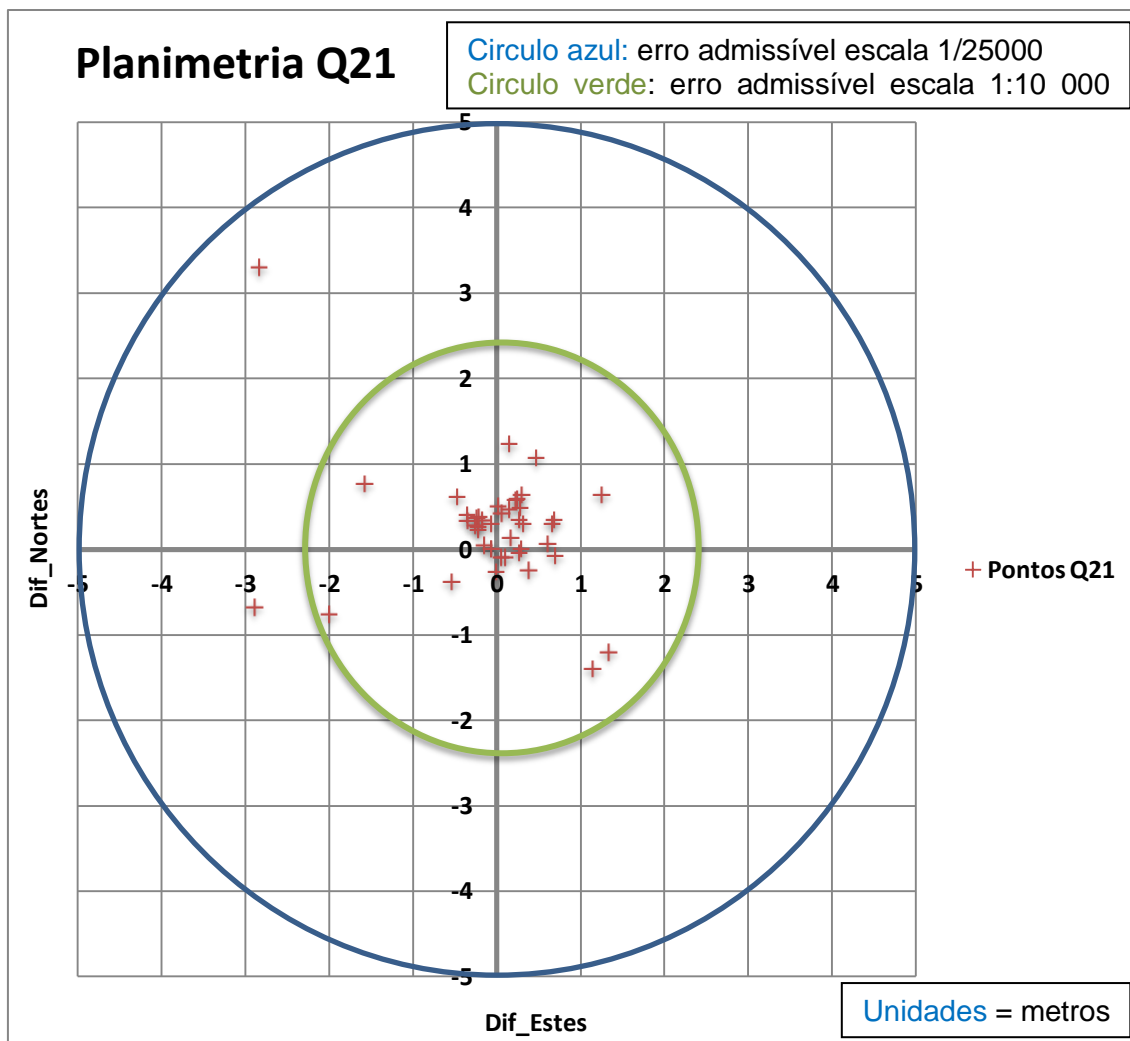


Gráfico 24 – Planimetria dos pontos do quadrado Q21

Como se pode verificar pelo Gráfico 24, todos os pontos estão dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e cerca de 93% dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 36 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q22

Q22							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
55	Erro Circular		1.918 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.312m	LMAS	2.187m	EMQ	0.863m	EMQ
	Factor Correção CMAS	1.419m	Factor Correção LMAS	2.366m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	1	N.º Pontos > 3m
						1	1

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q22 (Tabela 36), pode-se verificar que tanto em termos de planimetria como altimetria, 98% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 0.863 metros e altimétrico de 1.545 metros.

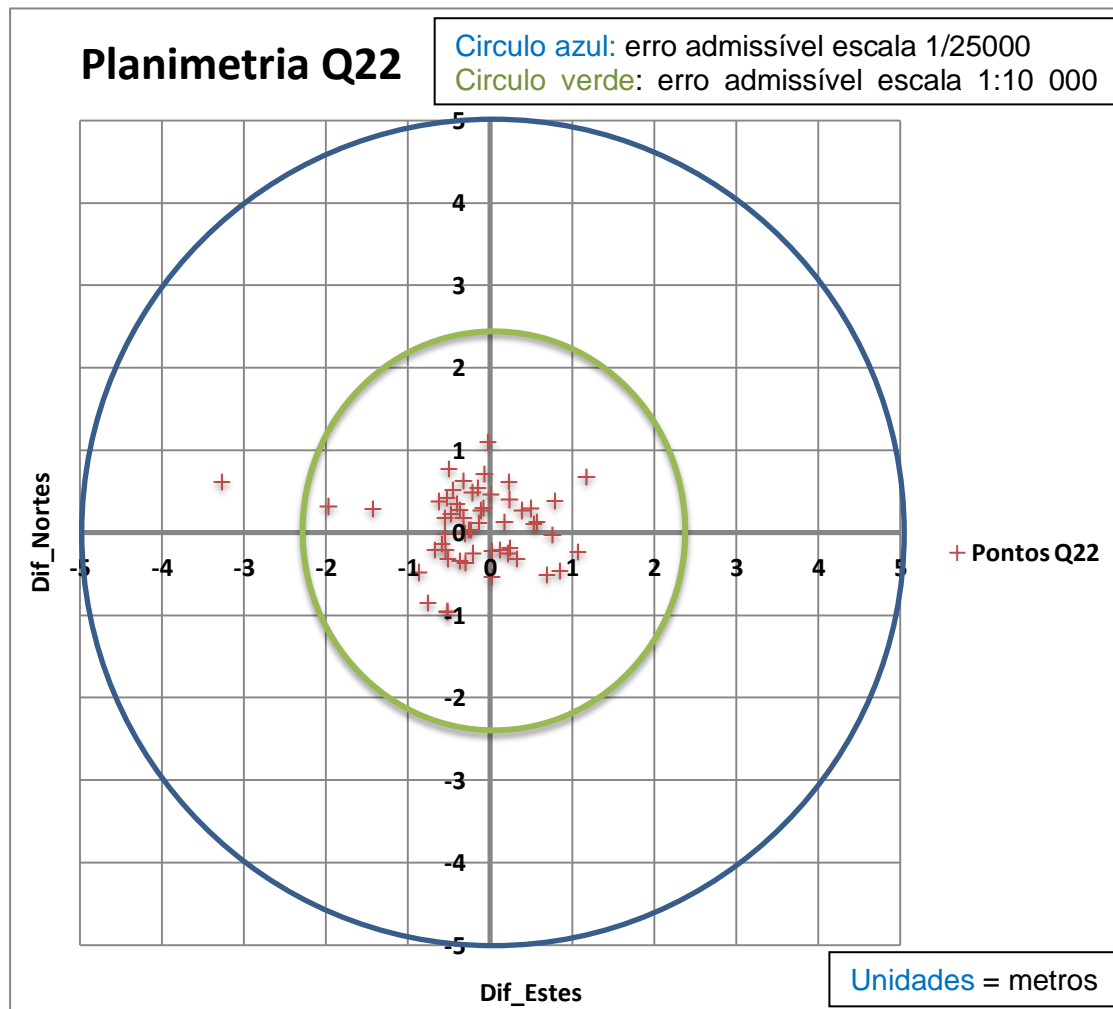


Gráfico 25 – Planimetria dos pontos do quadrado Q22

Como se pode verificar pelo Gráfico 25, todos os pontos estão dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e apenas um ponto encontra-se fora da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 37 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q23

Q23								
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ			
68	Erro Circular		3.216 m		Planimetria		Altimetria	
	CMAS	2.089m	LMAS	2.215m	EMQ	1.379m	EMQ	1.375m
	Factor Correcção CMAS	2.217m	Factor Correcção LMAS	2.351m	Tolerâncias			
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	3	N.º Pontos > 3m	1

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q22 (Tabela 37), pode-se verificar que em termos de planimetria 96% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.379 metros. Em termos de altimetria, aqui os resultados também são muito bons, verificando-se que 99% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.375 metros.

Como se pode verificar pelo Gráfico 26, apenas um ponto encontra-se fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e também apenas 4% dos pontos encontram-se fora da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

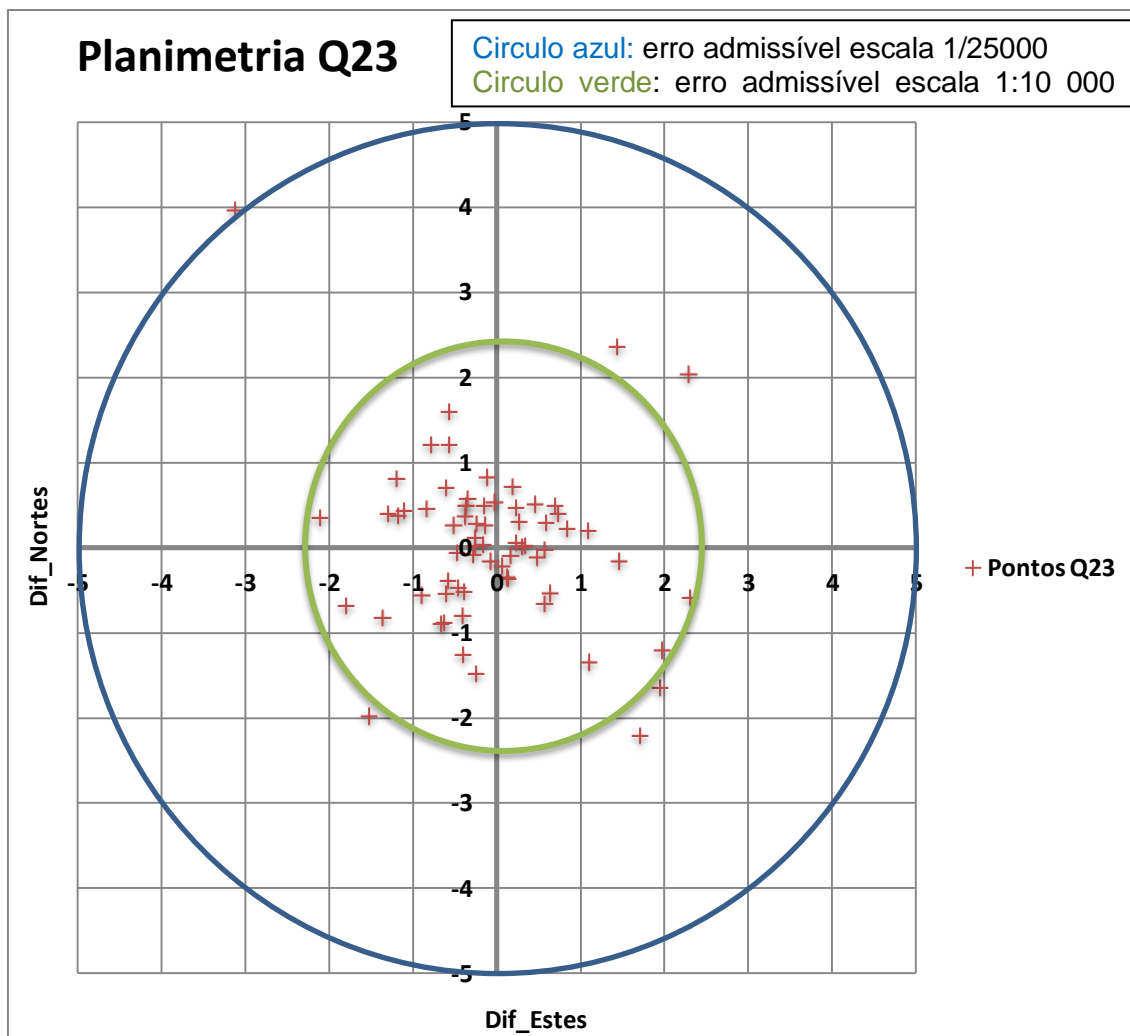


Gráfico 26 – Planimetria dos pontos do quadrado Q23

Tabela 38 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q31

Q31							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
29	Erro Circular		3.46 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	2.452m	LMAS	1.524m	EMQ	1.625m	EMQ
	Factor Correção CMAS	2.867m	Factor Correção LMAS	1.782m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	4	N.º Pontos > 3m
				0			0

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q31 (Tabela 38), pode-se verificar que em termos de planimetria 86% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.625 metros. Em termos de altimetria, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 0.945 metros.

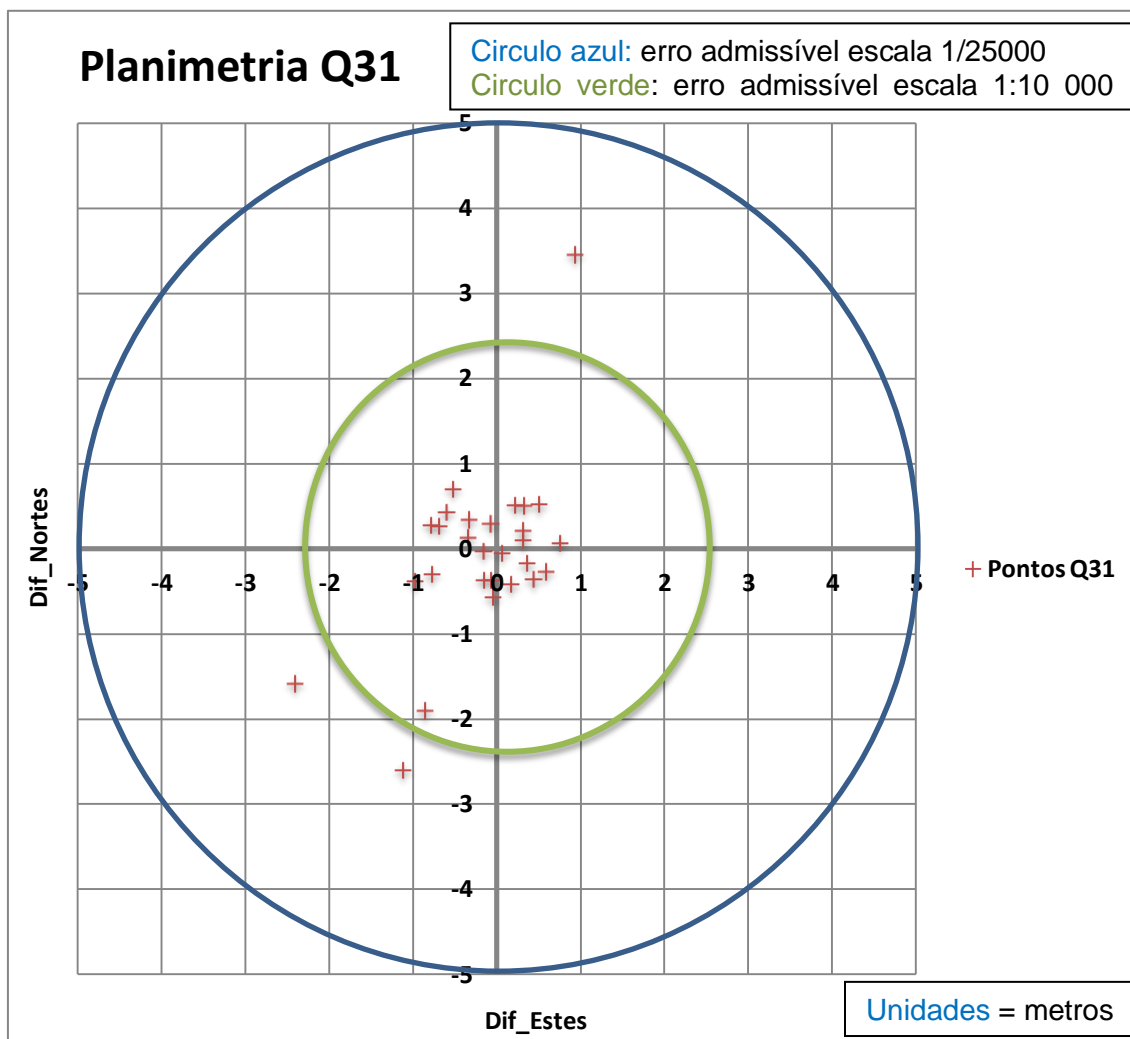


Gráfico 27 – Planimetria dos pontos do quadrado Q31

Como se pode verificar pelo Gráfico 27, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e apenas três pontos encontram-se fora da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 39 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q32

Q32							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
32	Erro Circular		2.56 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.792m	LMAS	2.011m	EMQ	1.206m	EMQ 1.372m
	Factor Correção CMAS	2.066m	Factor Correção LMAS	2.319m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0	N.º Pontos > 2.3m	1	N.º Pontos > 3m 1

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q32 (Tabela 39), pode-se verificar que tanto em termos de planimetria como altimetria, 97% dos pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.206 metros e altimétrico de 1.372 metros.

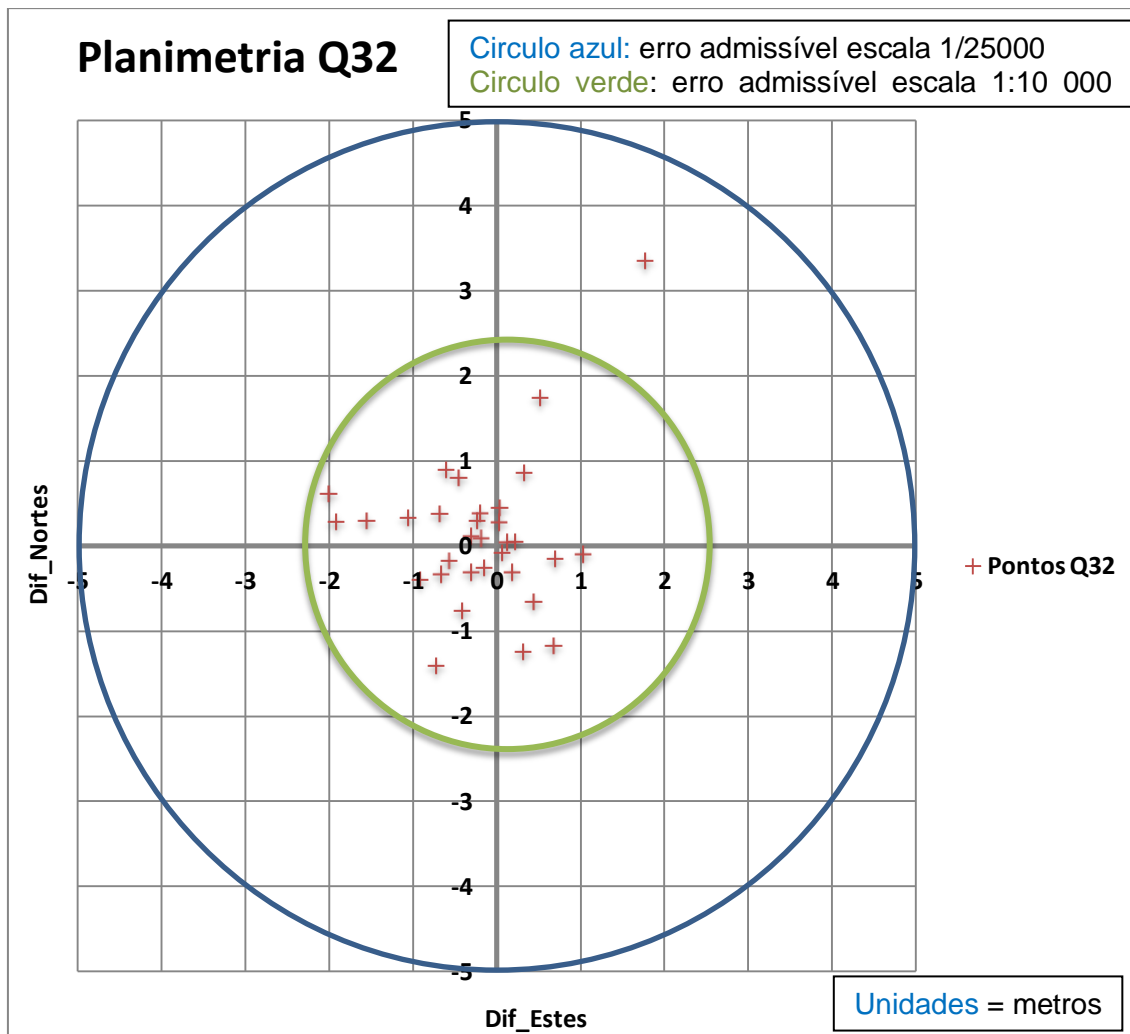


Gráfico 28 – Planimetria dos pontos do quadrado Q32

Como se pode verificar pelo Gráfico 28, todos os pontos encontram-se dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e apenas um ponto encontra-se fora da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Tabela 40 – Resultados da validação da restituição fotografia no quadrado Q33

Q33							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
10	Erro Circular		1.212 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	0.991m	LMAS	2.089m	EMQ	0.71m	EMQ 1.421m
	Factor Correção CMAS	1.482m	Factor Correção LMAS	3.124m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	1			
					N.º Pontos > 2.3m	0	N.º Pontos > 3m 0

Da análise dos resultados referentes ao quadrado Q33 (Tabela 40), pode-se verificar que tanto em termos de planimetria como altimetria, todos os pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 0.71 metros e altimétrico de 1.421 metros.

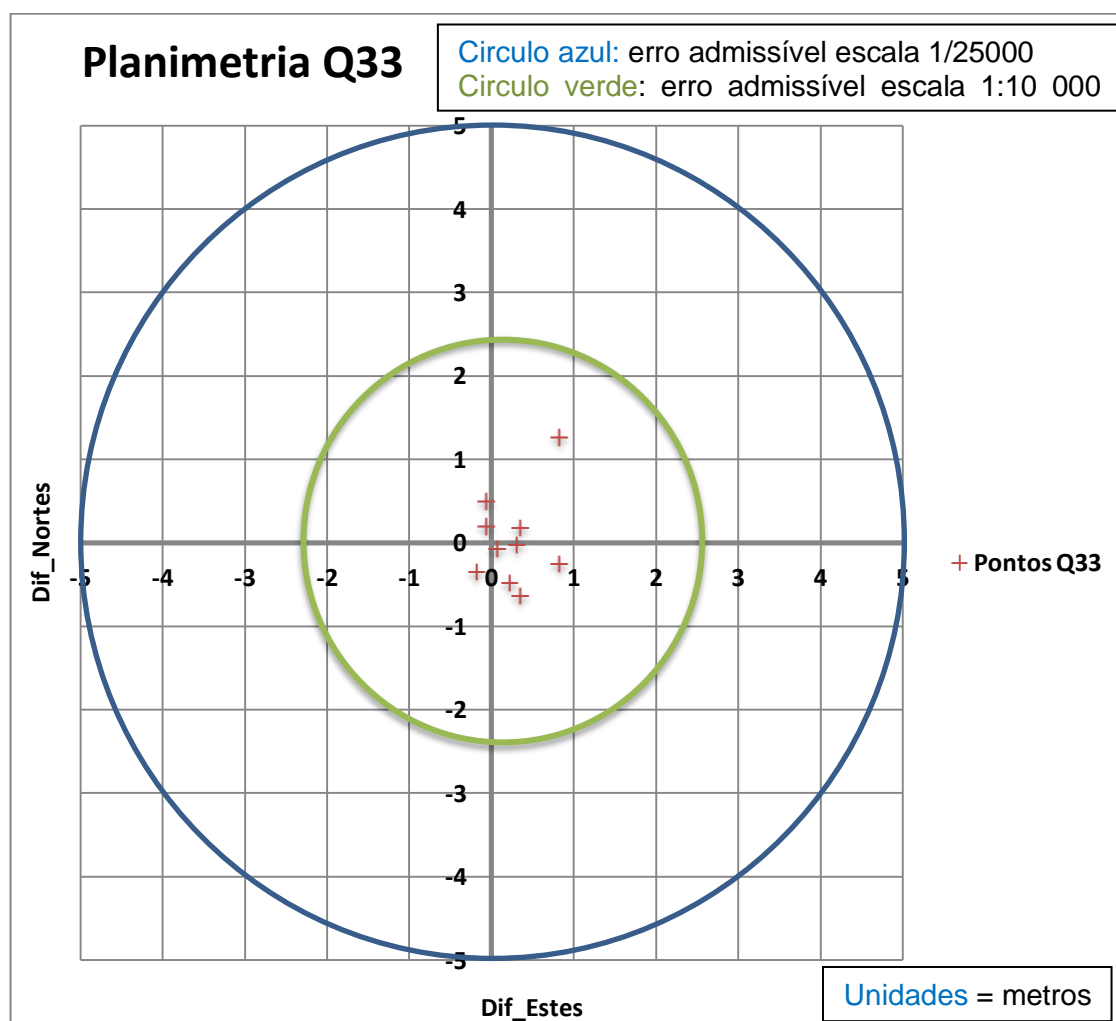


Gráfico 29 – Planimetria dos pontos do quadrado Q33

Como se pode verificar pelo Gráfico 29, todos os pontos encontram-se tanto dentro da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) como da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000, se a restituição se considerar isenta de erros.

Na Figura 43, é apresentada uma visão geral dos resultados obtidos por quadrados, em termos de precisão.

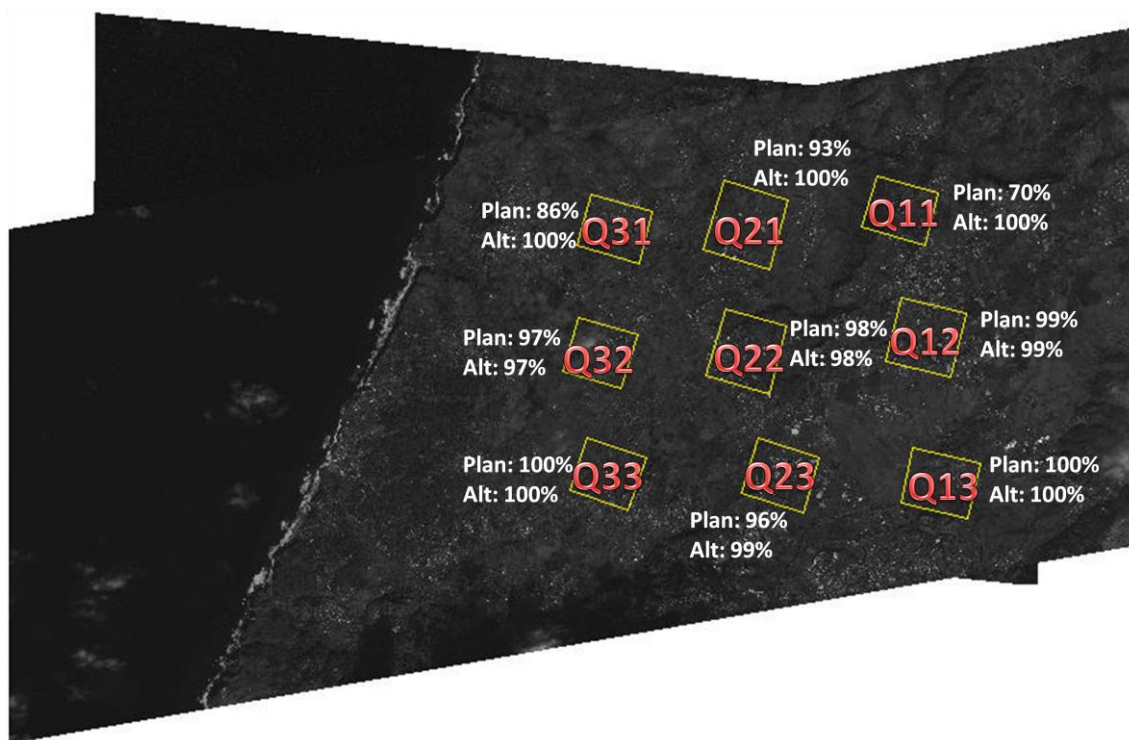


Figura 43 – Resultados na restituição a partir de fotografia aérea

De uma forma geral, verifica-se que tanto em termos de planimetria como de altimetria os resultados são consistentes e muito satisfatórios, tendo-se obtido o pior resultado em planimetria com 70% dos pontos dentro da tolerância e altimetria com 97%. Aqui de relembrar que estas tolerâncias dizem respeito ao EMQ face à escala 1:10 000 pois para escala 1:25 000 estão todos os pontos dentro da tolerância.

Na Tabela 41 e Gráfico 30, são apresentados os resultados da área restituída como um todo.

Tabela 41 – Resultados da comparação da restituição fotografia na área total de restituição

Área Total							
N.º Pontos	STANAG 2215				EMQ		
379	Erro Circular		3.340 m		Planimetria		Altimetria
	CMAS	1.894m	LMAS	1.982m	EMQ	1.248m	EMQ 1.261m
	Factor Correção CMAS	1.829m	Factor Correção LMAS	1.914m	Tolerâncias		
	Classificação Horizontal	A	Classificação Vertical	0			
					N.º Pontos > 2.3m	20	N.º Pontos > 3m 4

Neste caso, pode-se verificar que em termos de planimetria cerca de 95% do total de pontos comparados encontram-se dentro das tolerâncias estipuladas, obtendo-se um erro médio quadrático planimétrico de 1.248 metros. Em termos de altimetria, 99% dos pontos encontram-se dentro da tolerância, tendo-se obtido um erro médio quadrático altimétrico de 1.261 metros.

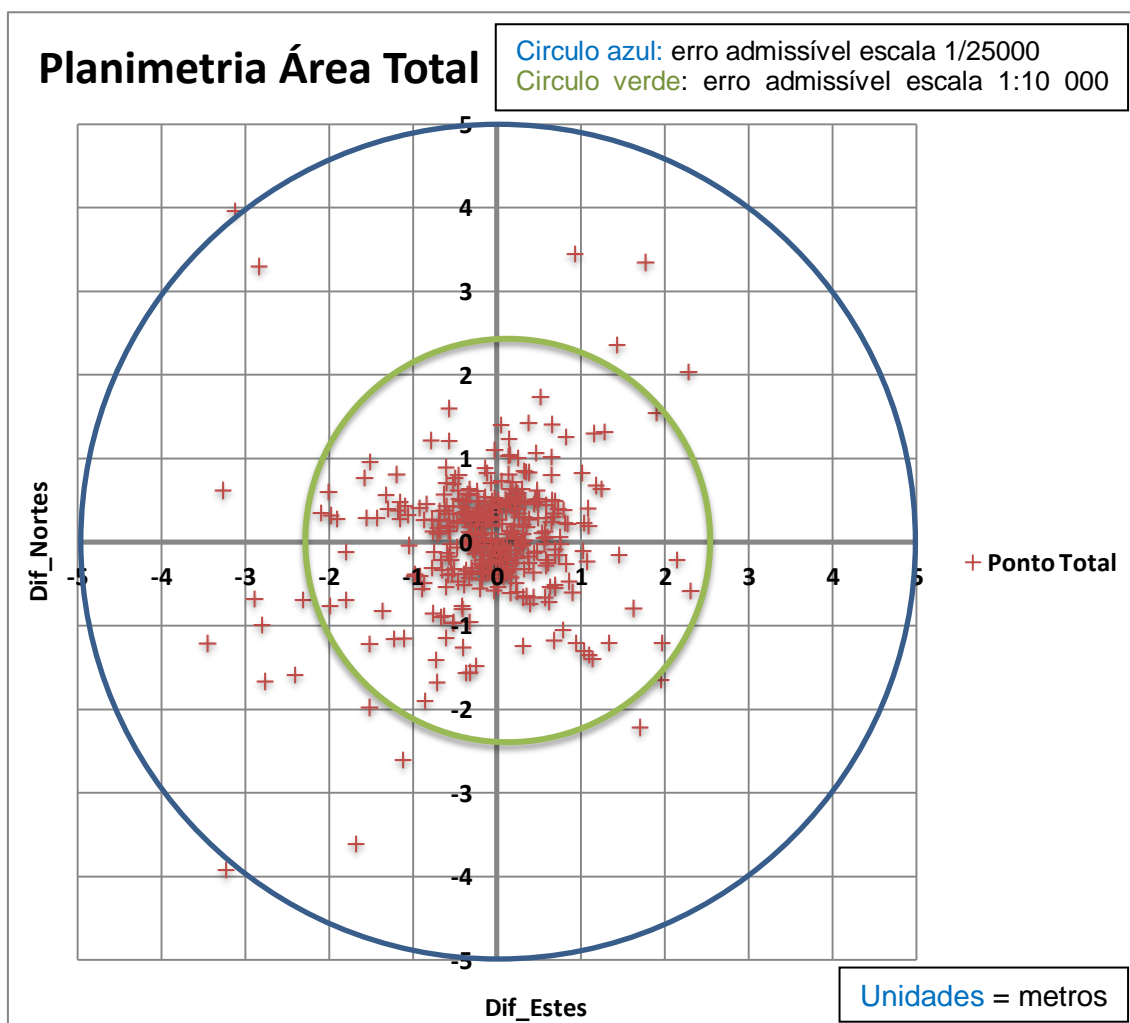


Gráfico 30 – Planimetria dos pontos da área total restituída

Em termos de totais, pode-se verificar pelo Gráfico 30, que apenas dois pontos se encontram fora da tolerância dos 5 metros (escala 1: 25 000) e 95 % dos pontos encontram-se dentro da tolerância de 2.3 metros correspondente à escala 1:10 000.

Aqui de referir, que os resultados obtidos vão de encontro com o trabalho realizado em 2008, no âmbito da disciplina de Projecto da Licenciatura em Engenharia Geográfica, elaborado pelo Major Nuno Mira intitulado “Controlo de Qualidade da Cartografia do Bloco de Lisboa produzida no Instituto Geográfico do Exército”.

5.3.2.3 Comparação entre resultados

Em termos de comparação, face à validação efectuada com os pontos GNSS tanto para a restituição feita a partir das imagens de satélite como para a restituição a partir das fotografias aéreas, seguem-se os Gráfico 31 e Gráfico 32 referentes à validação em planimetria e altimetria respectivamente.

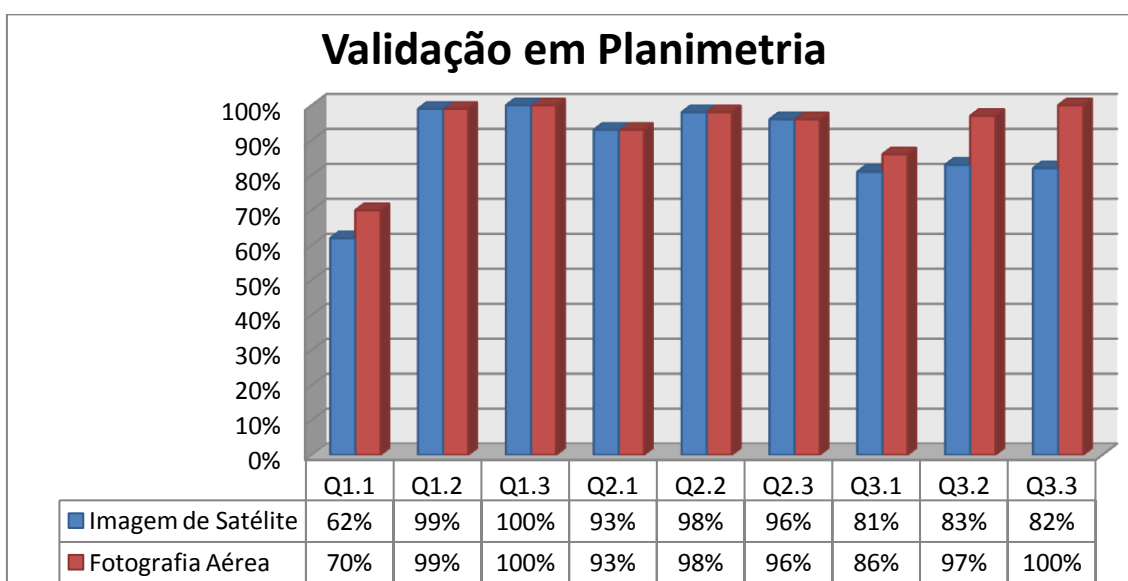


Gráfico 31 – Comparação entre restituições da validação com pto GNSS em planimetria

Da análise do Gráfico 31, pode-se concluir que em termos de planimetria, as percentagens de pontos que estão dentro da tolerância de 2.3 metros, tanto na restituição feita a partir das imagens de satélite como na das fotografias aéreas, estão aceitáveis, denotando-se melhores resultados para a restituição feita a partir das fotografias aéreas.

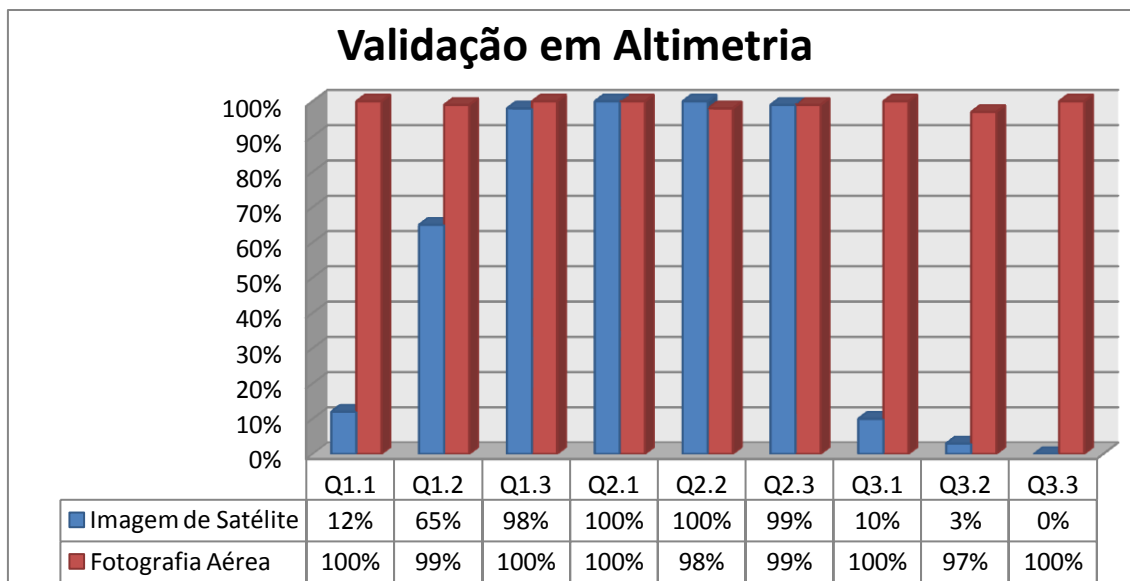


Gráfico 32 – Comparação entre restituições da validação com ptos GNSS em altimetria

Da análise do Gráfico 32Gráfico 31, pode-se concluir que em termos de altimetria, as percentagens de pontos que estão dentro da tolerância de 2.3 metros, estão claramente melhores na restituição feita a partir das fotografias aéreas.

5.4 4ª Fase – Modelo Digital de Elevação

5.4.1 Correlação automática de pontos

Um dos processos fundamentais para produzir um MDE é a identificação e medição de pontos homólogos entre as duas imagens do par. Existem vários métodos de correspondência, cuja classificação varia de acordo com os autores. Assim, neste projecto consideraram-se os métodos cujas primitivas são os tons de cinzento e as características presentes nas imagens.

Desta forma, classificam-se os métodos de correspondência em duas categorias:

1) Correspondência baseada em áreas (*Area Based Matching*), onde se comparam os níveis de cinzento de pequenas áreas nas duas imagens e a sua similaridade que é medida por correlação estatística. De seguida ainda se podem aplicar técnicas de MMQ;

2) Correspondência baseada em características (*Feature Based Matching*), onde nas imagens são extraídas características para fazer a correspondência. Estas características podem ser locais tais como pontos ou linhas, ou globais (descrições mais complexas do conteúdo das imagens) tais como polígonos ou estruturas. Assim cada característica é descrita por atributos, como coordenadas, orientação e

magnitude dos gradientes, comprimento e curvatura das linhas, tamanho e brilho de regiões, entre outros. Além dos atributos podem ser estabelecidas relações entre as características, tais como relações geométricas: ângulo entre dois lados de polígonos; relações radiométricas, como a diferença entre os tons de cinzento em duas regiões adjacentes.

A correspondência automática de imagens é realizada por diversos operadores de processamento digital de imagem, cujo objectivo é determinar pontos homólogos em pares estereoscópicos. Como estes operadores se baseiam apenas na informação radiométrica das imagens, a amostra que se obtém poderá apenas gerar um MDS. As amostras obtidas por este método, normalmente são muito densas.

Para efectuar este procedimento, usou-se o *software Photomod Lite* onde a correlação de imagens, com precisão ao nível de pixel, foi feita examinando áreas pré-estabelecidas no par estereoscópico e aplicando uma função de correlação ou critério de medida de similaridade aos valores numéricos das funções de tom de cinzento.

Por outras palavras, o *software* compara a distribuição dos níveis de cinzento de uma janela de referência delimitada na imagem esquerda, denominada de *template*, com todas as janelas de pesquisa possíveis dentro de uma janela de busca delimitada na imagem direita, consoante Figura 44.

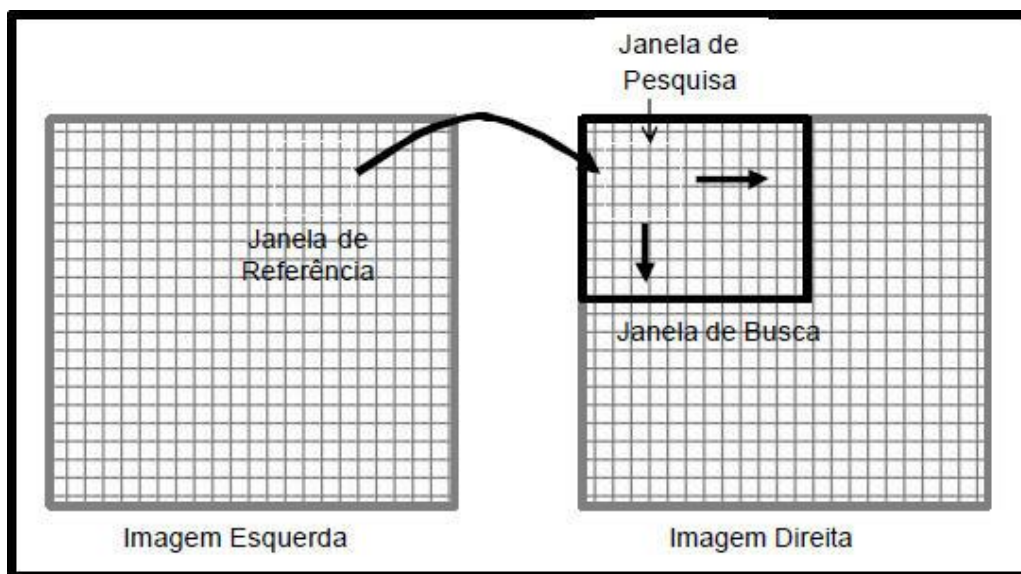


Figura 44 – Janela busca de correlação automática de pontos
Fonte: [Strauch, 1991]

Existem vários critérios de medida de similaridade, tais como a Função Erro, onde é feita a subtração dos níveis de cinzento entre os pixels das janelas sendo a posição de melhor correlação, aquela na qual a função assume o valor mais próximo de zero; e a

Função Quociente, onde é feita a razão entre os níveis de cinzento sendo a posição de maior similaridade, a mais próxima do valor um.

Uma das funções mais conhecidas e usada, é o coeficiente de correlação, expresso pela seguinte expressão [Heipke, 1996; Wolf e Dewitt, 2000]:

$$\rho = \frac{\sigma_{RP}}{\sigma_R \sigma_P} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((g_R(x_i, y_j) - \overline{g_R})(g_P(x_i, y_j) - \overline{g_P}))}{\sqrt{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_R(x_i, y_j) - \overline{g_R})^2 * \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_P(x_i, y_j) - \overline{g_P})^2}} \quad (24)$$

Onde:

- σ_{RP} é a covariância entre as janelas de referencia e pesquisa;
- σ_R é o desvio padrão da janela de referencia;
- σ_P é o desvio padrão da janela de pesquisa;
- n e m são os números de colunas e linhas da janela de referencia;
- $g_R(x_i, y_j)$ é o nível de cinzento da posição (x_i, y_j) na janela de referencia;
- $g_P(x_i, y_j)$ é o nível de cinzento da posição (x_i, y_j) na janela de pesquisa;
- $\overline{g_R}$ é a média dos níveis de cinzento da janela de referencia;
- $\overline{g_P}$ é a média dos níveis de cinzento da janela de pesquisa.

O factor de correlação varia de -1 a 1, onde o valor -1 indica correlação inversa; o valor 0 indica que não há correlação entre as janelas e o valor 1 corresponde à medida de similaridade máxima.

Assim, tal como referido anteriormente, foram definidas pequenas áreas de busca, o que se revelou de extrema importância devido às limitações do *software* levando a uma diminuição do esforço computacional e uma redução do tempo de processamento, tendo ainda em conta a capacidade limitada dos *layers* de informação (limite 50 000 pontos).

Na execução da detecção de pontos correlacionados automaticamente, definiu-se uma série de opções, tais como: a definição da área de trabalho como sendo o par estereoscópico; o espaçamento da grelha como sendo de metro a metro; parâmetros de correlação como sendo área rural; aproximação inicial do valor de altitude como sendo a média no par estereoscópico e a divisão por áreas mais pequenas como 1000m*1000m, de acordo com a Figura 45.

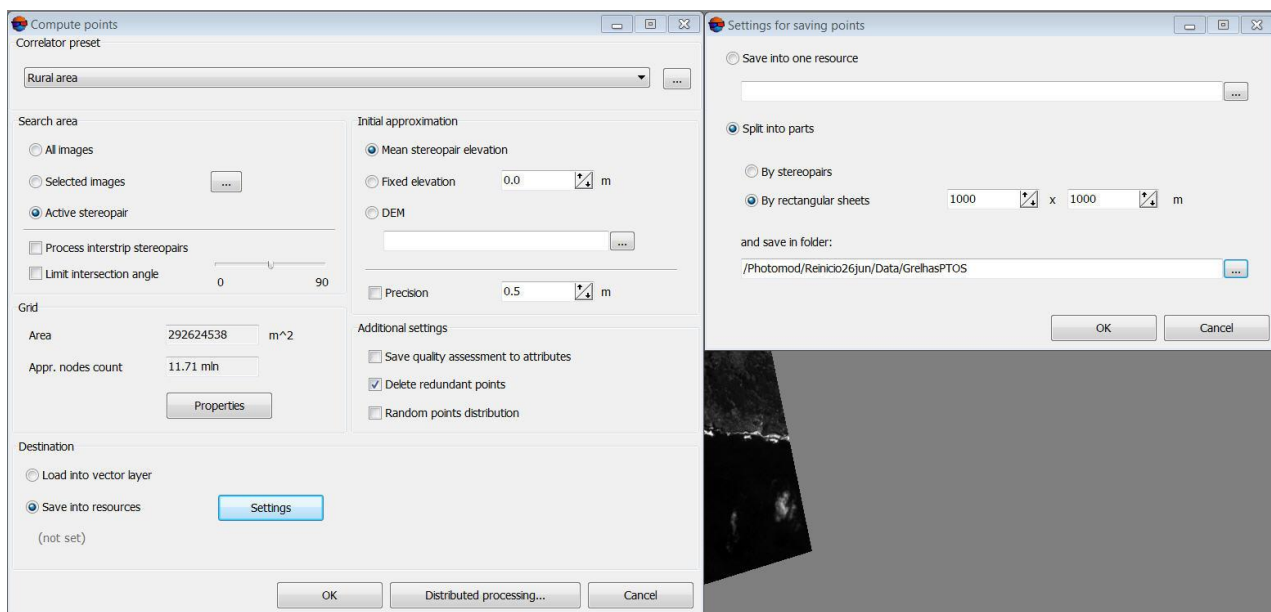


Figura 45 – Definição de critérios para autocorrelação

Assim, após processamento, obteve-se um total de 17 *layers* com um total de amostra primária de 543925 pontos (Figura 46). Estes pontos foram exportados do *software Photomod* em formato *shapefile*, de modo a trabalhar os dados no *software ArcGis*. Aqui importa referir que estes pontos não sofreram qualquer tipo de filtragem, ou seja, com estes dados apenas se poderá gerar um MDE do tipo MDS.

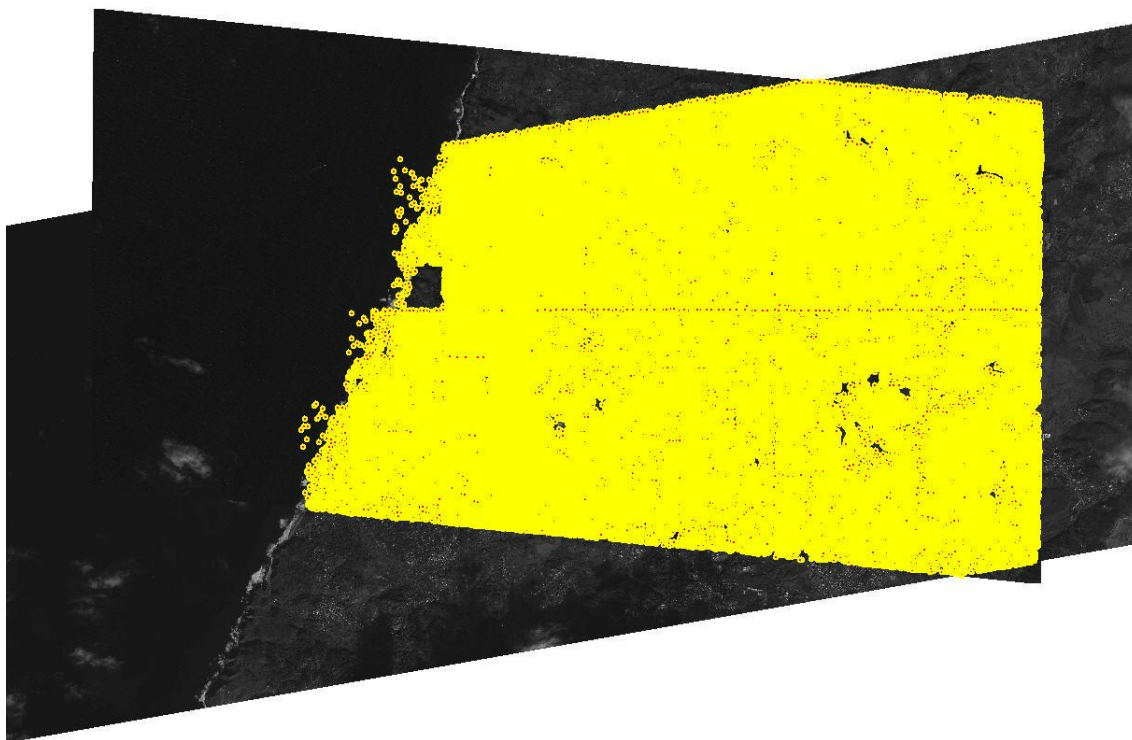


Figura 46 – Totalidade de pontos correlacionados automaticamente

5.4.2 Interpolação espacial

Os pontos obtidos através da correspondência de imagens de satélite não estão uniformemente distribuídos e não representam completamente a superfície pois são valores discretos. Assim, surgiu a necessidade de se realizar interpolações, obtendo valores nos locais onde não existem pontos da amostra. O processo de interpolação não vai melhorar a qualidade do produto gerado, mas preencher os “vazios” deixados pelo processo de correspondência.

A interpolação espacial é um processo para, através da utilização de pontos com valores conhecidos, estimar valores de outros pontos. Trata-se de um conjunto de técnicas que visam a criação de superfícies contínuas a partir de amostras pontuais.

Neste caso, os dados da amostra são as coordenadas dos pontos, obtidas na correlação automática das imagens de satélite e a superfície contínua foi gerada no *software ArcGis* usando o método de *Kriging*.

A interpolação espacial feita foi baseada na informação espacial do semivariograma (instrumento que descreve quantitativamente a variação no espaço de um fenómeno regionalizado) e implementada na Análise Geoestatística. Assim foi gerada uma superfície interpolada mantendo os parâmetros por defeito mas tendo em conta a avaliação efectuada anteriormente à amostra de dados.

Kriging

Kriging é um método de regressão usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados. Pode ser entendido como uma predição linear, que parte do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados. O *kriging* assume que os dados recolhidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço.

É baseado numa função contínua que explica o comportamento de uma variável nas diversas direcções de um espaço geográfico, e permite associar a variabilidade da estimativa com base na distância que existe entre um par de pontos, pelo uso de um semivariograma, o qual permite verificar o nível de similitude que existe entre pontos à medida que estes se afastam.

O kriging é expresso pela seguinte expressão:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) \quad (25)$$

Onde:

- $Z(s)$ é a variável com distribuição em função da localização s ;
- $\mu(s)$ é a componente determinística, ou seja, a distribuição global do fenómeno espacial;
- $\varepsilon(s)$ é a componente aleatória, ou seja, a variação local dentro de uma área.

De uma forma geral, a estimativa de valores para um ponto s , é determinada pelo método de *kriging* através da média ponderada dos valores de todas as amostras. Assim, torna-se necessário considerar os pesos associados a cada amostra, λ_i e a expressão geral do *kriging* assume a seguinte forma:

$$\hat{Z}(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (26)$$

Segundo diversos autores, o método que melhor traduz a realidade de uma superfície é o *kriging* pois sendo um método de interpolação probabilístico, considera a aplicação do conhecimento da distribuição espacial, ou seja, continuidade e direcção do fenómeno espacial.

Assim sendo, o método escolhido foi o *kriging* Ordinário, onde as médias locais não são necessariamente próximas da média da população (valor constante mas desconhecido) usando-se apenas os pontos vizinhos para a estimação. É o método, por norma, mais usado e foi escolhida a aplicação do modelo teórico esférico, onde a função semivariograma é ajustada aos pontos. A superfície obtida encontra-se na Figura 47 e, tal como referido anteriormente, trata-se de um MDS.

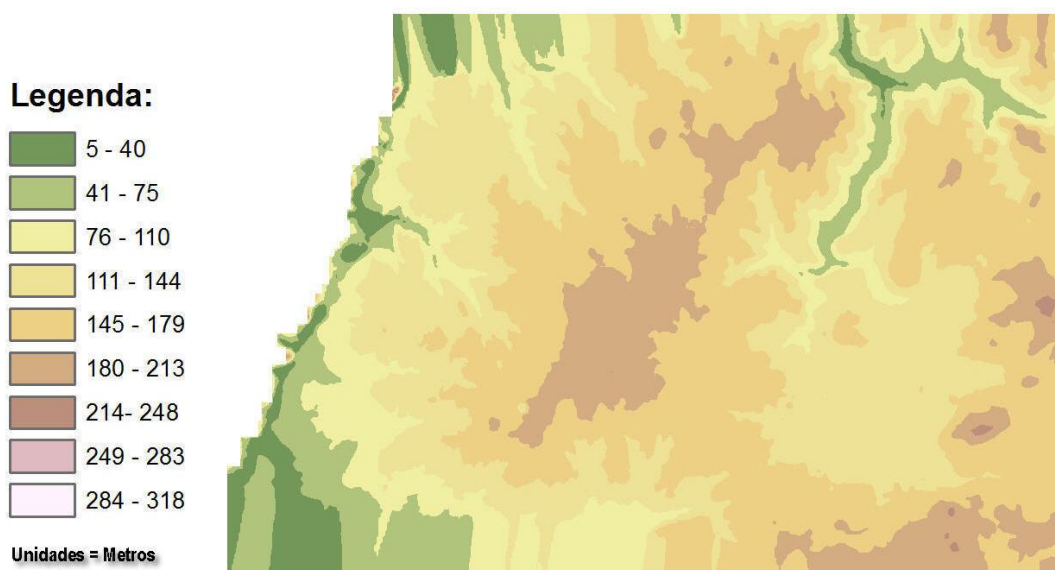


Figura 47 – Resultado da interpolação por *Kriging*

Como a análise visual deste resultado não é método para avaliar a qualidade da interpolação e da correlação, procedeu-se à quantificação do ajustamento através da comparação da superfície com dados de campo.

5.4.3 Validação do MDE

Uma vez gerado o MDE, procedeu-se à sua validação. Ou seja, analisar se o produto gerado é compatível com a realidade no terreno. Assim de modo a não limitar essa avaliação, à comparação com os dados obtidos em campanhas de campo anteriores, pois são insuficientes para o efeito. Optou-se por planejar uma última campanha de campo, com duração de 1 dia, cujo objectivo seria obter a maior amostra de pontos possível, distribuída ao longo de toda a área de estudo.

Assim, para a referida campanha de campo montou-se o equipamento GNSS Trimble R8 no tejadilho do Jeep XTrail, ligado à rede SERVIR. Com o objectivo de registar pontos ao longo do deslocamento, colocou-se o equipamento a funcionar em modo contínuo, registando pontos de 100 em 100 metros, obtendo-se um total de 431 pontos, distribuídos consoante a Figura 48. Nesta situação tentou-se, dentro do possível, cobrir zonas de diferentes cotas e declives.

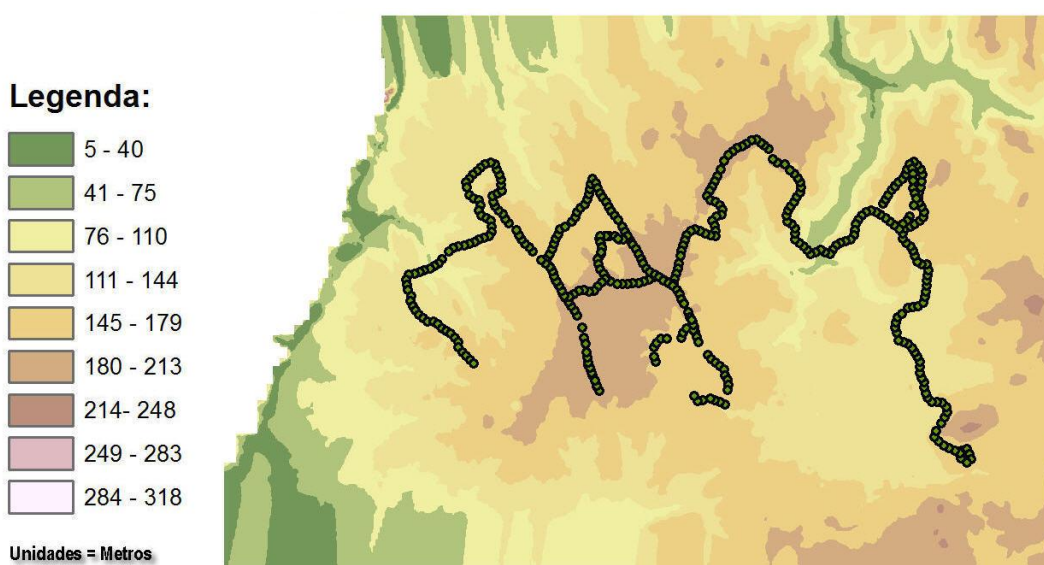


Figura 48 – Localização dos pontos obtidos na 3ª campanha de campo

No *software ArcGis*, através da função *Spatial Analyst: Extract Values to Points* obteve-se as coordenadas referentes à superfície interpolada dos pontos correspondentes aos obtidos na campanha de campo. Assim após extracção de todos os dados para o Excel, procedeu-se à análise de resultados através da comparação entre coordenadas.

Posto isto, a avaliação da qualidade da interpolação efectuada para o MDS foi obtida por validação cruzada entre a superfície gerada por *kriging* e a amostra de 431 pontos. Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 42.

Tabela 42 – Resultados da validação do MDE

N.º Pontos	Diferenças de altitudes	
431	Média	4.068 m
	Desvio Padrão	2.472 m
	Máximo	11.077 m
	Mínimo	0.003 m
	EMQ	4.76 m

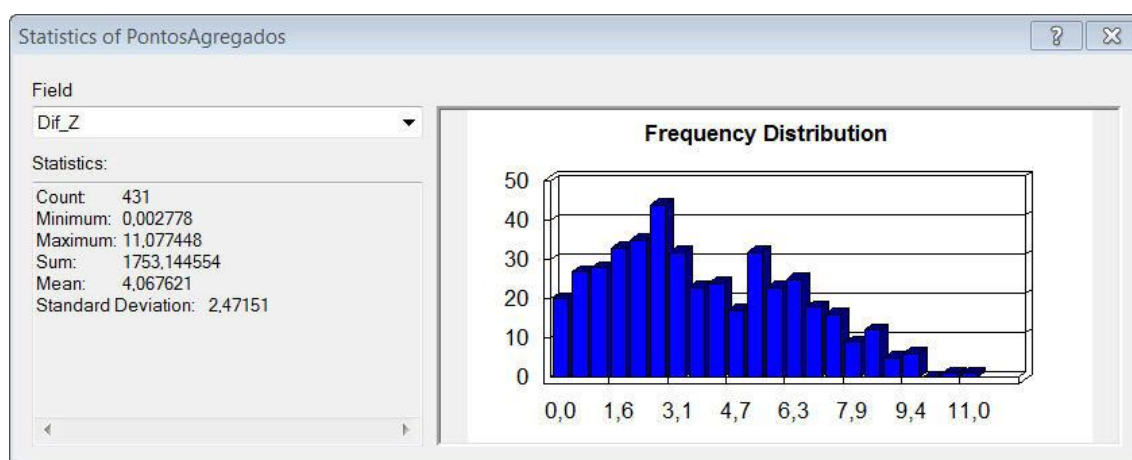


Figura 49 – Análise estatística

De referir que, da análise dos resultados, a grande maioria das diferenças são inferiores à média de 4 metros, sendo cerca de 1 a 2 metros. No entanto, verificam-se excepções que desconfia-se que poderá estar associado ao facto de na zona dos quadrados Q31, Q32 e Q33, as diferenças rondarem os 7 metros pois estas zonas estão mais afastadas do local onde foram recolhidos GCP's para a orientação das imagens de satélite no *software Photomod*.

Contudo, o EMQ calculado encontra-se abaixo dos 5 metros que no caso da cartografia 1:25 000 é o erro admissível para altimetria. Logo, poder-se-á extrapolar que a interpolação da superfície MDS está "aceitável".

6 Conclusões

Com a sistemática evolução e oferta de novas tecnologias, assim como o rápido desenvolvimento nos satélites de alta resolução, é cada vez mais pertinente, efectuar estudos relativos à exploração das suas potencialidades. É extremamente importante que seja feita uma correcta avaliação do investimento efectuado e dos imensos produtos disponibilizados, com a consciência dos problemas decorrentes do uso dessas novas tecnologias, evitando assim perda de tempo e recursos afectos à mudança de metodologias.

Assim, com o decorrer do presente projecto, foram-se chegando a algumas conclusões acerca do assunto em questão. Relativamente ao uso das imagens de satélite para produzir informação cartográfica para a Carta Militar 1:25 000, tentando-se dentro dos possíveis, utilizar os mesmos procedimentos que actualmente existem na cadeia de produção do IGeoE, conclui-se o seguinte:

- Relativamente aos meios, imagens de satélite e fotografias aéreas, necessários para o processo de restituição em estereoscopia, temos dois importantes aspectos a ter em consideração.

O primeiro está relacionado com o facto de actualmente o preço das imagens de satélite ainda ser relativamente dispendioso, o que no caso das imagens WV2 ficaria em cerca de 60 euros o km^2 para pares estereoscópicos. (10 800 euros para o par testado)

O segundo aspecto reside no facto de a área de cobertura diferir, ou seja, nas fotografias aéreas estamo-nos a referir a uma área com um tamanho aproximado de 400 *m* de largura por 600 *m* de comprimento, enquanto as imagens de satélite abrangem uma maior área com um tamanho aproximado de 10 *Km* largura por 18 *Km* de comprimento.

- Relativamente à restituição propriamente dita, especificamente em termos de elementos do tipo ponto, constatou-se que devido à dificuldade na identificação dos elementos escolhidos do Catálogo de Objectos do IGeoE (poços e postes de alta tensão), as imagens de satélite WV2 neste momento nunca poderiam gerar restituições tão ricas em informação como a restituição proveniente das fotografias aéreas. Isto poderá ser devido a diversos factores como o facto da presença de nuvens, a inclinação não corrigida pela orientação ou até mesmo o facto da própria imagem pancromática não permitir a correcta visualização e identificação desses

elementos. Assim, de acordo com as normas técnicas da cartografia 1:10 000, não existiria conformidade semântica da informação pois existiriam erros de omissão face aos dados cartografados quando comparados com o terreno.

- Relativamente à restituição de elementos do tipo linha, nomeadamente a restituição de estradas, chegou-se à conclusão que seriam sempre restituídos dentro das precisões em termos de planimetria. Isto baseado essencialmente em dois aspectos: primeiro devido ao facto de serem facilmente identificadas na imagem de satélite e segundo devido ao facto da sua marcação ser através do eixo principal, o que faz com que as linhas estejam sempre dentro das tolerâncias permitidas para a escala 1:25 000.

- Relativamente à restituição de elementos do tipo polígono, chegou-se a diversas conclusões, tais como, o facto do produto da estereorrestituição a partir de imagens de alta resolução WV2 poder ser utilizado em diversos trabalhos que necessitem de dados bidimensionais, dentro da escala 1:25 000, pois os resultados possuem uma boa qualidade planimétrica.

Relembre-se que numa apreciação global, os resultados obtidos na validação da restituição a partir de imagens de satélite WV2 foram de que em termos do STANAG 2215, a restituição estava dentro dos parâmetros da precisão planimétrica e em termos de EMQ, 90% dos pontos estavam dentro da tolerância de 2.3 metros com um erro planimétrico de 1.764 metros. (Tabela 31)

Contudo, se tivermos em conta a restituição que actualmente se faz no IGeoE, e de acordo com os resultados obtidos na validação da mesma, em que em termos de STANAG 2215, estava dentro dos parâmetros da precisão planimétrica e em termos de EMQ, 95% dos pontos estavam dentro da tolerância de 2.3 metros com um erro planimétrico de 1.248 metros (Tabela 41), podemos concluir que, em termos de planimetria, a restituição a partir de fotografia aérea produz melhores resultados comparativamente à restituição por imagem de satélite.

Quando analisamos o caso em termos de altimetria, aqui não existe qualquer tipo de dúvida face aos resultados obtidos. A restituição a partir de imagens de alta resolução WV2, não produz bons resultados. Relembre-se que numa apreciação global, os resultados obtidos na validação da restituição a partir de imagens de satélite foi de que em termos STANAG 2215, a restituição estava no limite dos 5 metros em altimetria (classificação 1) mas em termos de EMQ o resultado foi de apenas 57% dos pontos estavam dentro da tolerância de 2.3 metros, obtendo-se um erro médio quadrático

altimétrico de 3.082 metros. (Tabela 31) Comparativamente, a validação da restituição a partir de fotografia aérea produziu óptimos resultados. Em termos de STANAG 2215, a restituição ficou classificada com uma precisão até 2.5 metros (classificação 0) e em termos de EMQ o resultado foi de que 99% dos pontos estavam dentro da tolerância de 2.3 metros com um erro médio quadrático altimétrico de 1.261 metros. (Tabela 41)

- Relativamente ao MDE gerado, face à validação executada conclui-se que o resultado, sendo abaixo dos 5 metros, revela que a superfície gerada se encontra dentro das tolerâncias permitidas. Logo poder-se-á concluir que o resultado poderá ser usado em diversos tipos de aplicações e trabalhos.

Com tudo isto, creio não ser precipitado dizer que o uso destas novas tecnologias, nomeadamente o uso de imagens de satélite para a obtenção de informação cartográfica para a Carta militar 1:25 000, tanto em termos de precisão geométrica, viabilidade técnica ou até mesmo de tempo despendido, ainda, não é viável na cadeia de produção do IGeoE.

Referências

- Afonso, A.J.G. (2010): A Rede “SERVIR” do IGeoE para “SERVIR” os Engenheiros de Portugal.
- Afonso, A. J. G.; Martins, F.; Dias, R.; Mendes, V.B. (2006): “IGeoE e o projecto SERVIR – “Sistema de Estações de Referência GNSS Virtuais” para RTK”, Boletim do IGeoE, Nº 68, Lisboa, Novembro.
- Câmara, G.; Barbosa, C.; Davis, C.; Fonseca, F. (2001): “Conceitos Básicos em Geoprocessamento”, Texto não publicado, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Brasil.
- Câmara, G.; Felgueiras, C. (2007): “Introdução à Ciência da Geoinformação”.
- Catita, C. M. (2012): “Análise Espacial da Informação Geográfica”, apontamentos das aulas de análise espacial da informação geográfica, texto não publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Digital Globe (2010): “The Benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-2”, White Paper.
- Ferreira, A. N. (2009): “Ciências de Informação Geográfica”, apontamentos das aulas de ciências de informação geográfica, texto não publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E.(2000): “Digital image processing”, ed. Addison-Wesley, p 716.
- Grodecki, J.(2001):” IKONOS Stereo Feature Extraction – RPC Approach”, ASPRS annual conference, ASPRS 2001 Proceedings, St. Louis.
- Heipke, C. (1996): “Overview of Image Matching Techniques”, OEEPE - Workshop on the application of digital photogrammetric workstations, Lausanne, Switzerland.
- IGeoE (2012) :“ Sistema de Estações de Referência GNSS VIRTuais (SERVIR)”, http://www.igeoe.pt/servir/ifr_servir.htm e http://www.igeoe.pt/servir/txt_info.htm, acedidos em Fevereiro de 2013.
- DGT (2013): “Normas técnicas de produção e reprodução de cartografia e ortofotocartografia à escala 1:10 000”, p 4.

-
- Martins, E. (2010): "Extração Semi-Automática de Rodovias no Espaço-Objeto: Uso Integrado de um Estéreo Par de Imagens Aéreas e um MDT", Tese de Mestrado.
- Matos, J. (2008): "Fundamentos de Informação Geográfica", 5ª ed. Lidel– Edições técnicas, Lda.
- Mendes, V. B e M. A. Silva (1996). "Normas de referência bibliográfica para o Curso de engenharia geográfica", Departamento de Matemática, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Mikhail, E. M.; Bethel, J. S.; Mcglone, J. C. (2001):" Introduction to modern Photogrammetry", Editora John Wiley & Sons, p 479.
- Mira, N. C. (2008): "Controlo de Qualidade da Cartografia do Bloco de Lisboa produzida no Instituto Geográfico do Exército", Projecto de Licenciatura.
- NATO (2001): "STANAG 2215 – Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data", Military Agency for Standardization, ed.6, draft 1.
- Redweik, P. (2012): "Produção Cartográfica", apontamentos das aulas de produção geográfica, texto não publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Strauch, J. C. M. (1991): "Correlação de Imagens Digitais". Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Tao, C. V.; Hu,Y. (2001): "The rational function model - A tool for processing high-resolution imagery", Earth Observation Magazine, 10(1): 13-16.
- Tommaselli, A. M. G.; Hasegawa, J. K.; GAalo, M. (2000): "Modernas tecnologias de aquisição de dados em Fotogrametria", Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v.6, n.1, p 49-64.
- Toutin, T. (2004): "Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods", International Journal of Remote Sensing, p 1893–1924.
- Wolf, P. R; Dewitt, B. A. (2000): "Elements of photogrammetry: with applications in GIS", 3ª ed. McGraw-Hill, p 608.
- Xu, Z. J. (2004): "The Rational Function Model (RFM) in Photogrammetric Mapping: Method and Accuracy", Dissertação de Mestrado do Department of Earth and Space Science & Engineering da York University; North York, Ontario, Canadá.

Zhu, L.; Umakawa, H.; Guan, F.; Tachibana, K.; Shimamura, H. (2008): "Accuracy Investigation of Orthoimages Obtained from High Resolution Satellite Stereo Pairs", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, Vol. XXXVII. Part B1. p1145-1148.

Anexo

Relatórios das Campanhas de Campo



Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 1

Nº DA FOTO DSC00033.JPG

Dir. LESTE UTM 470274.052

Dir. NORTE UTM 4297260.843

Alt. Elipsoidal 187.486

N 53.677

COTA OBJETO 133.809

ALTURA OBJETO 2

COTA TERRENO 132.372

DESCRIÇÃO

Centro Cruzamento Estrada da BA1 e Aqueduto

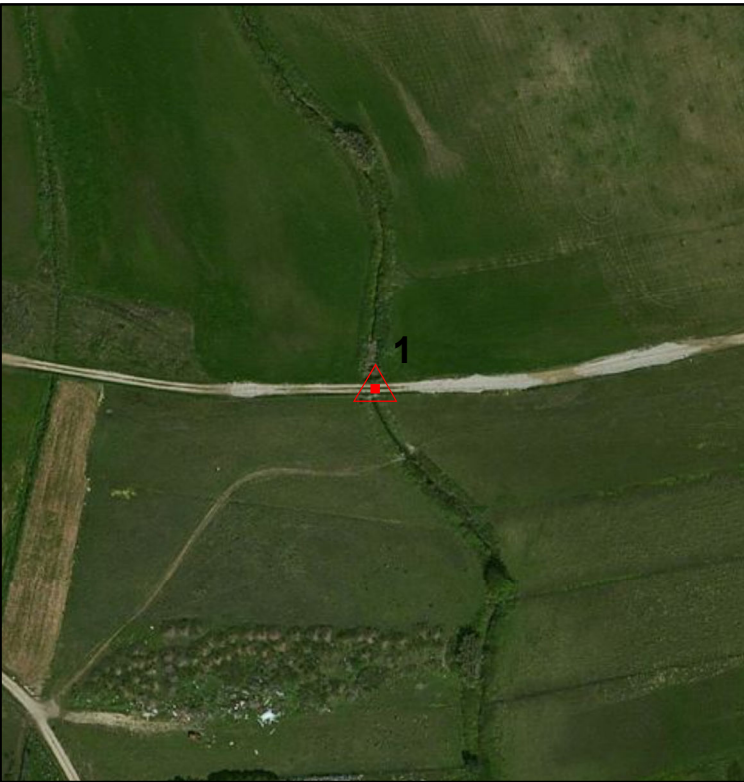
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 2
Nº DA FOTO DSC00031.JPG

Dir. LESTE UTM	469697.95
Dir. NORTE UTM	4297345.089
Alt. Elipsoidal	188.995
N	53.684
COTA OBJETO	135.311
ALTURA OBJETO	1.45
COTA TERRENO	133.804

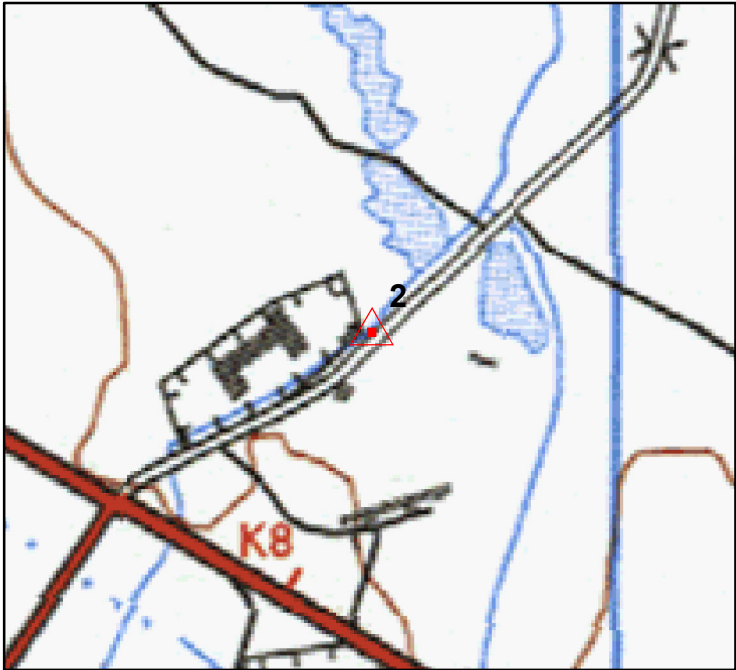
DESCRIÇÃO

Esquina Muro de Fabrica

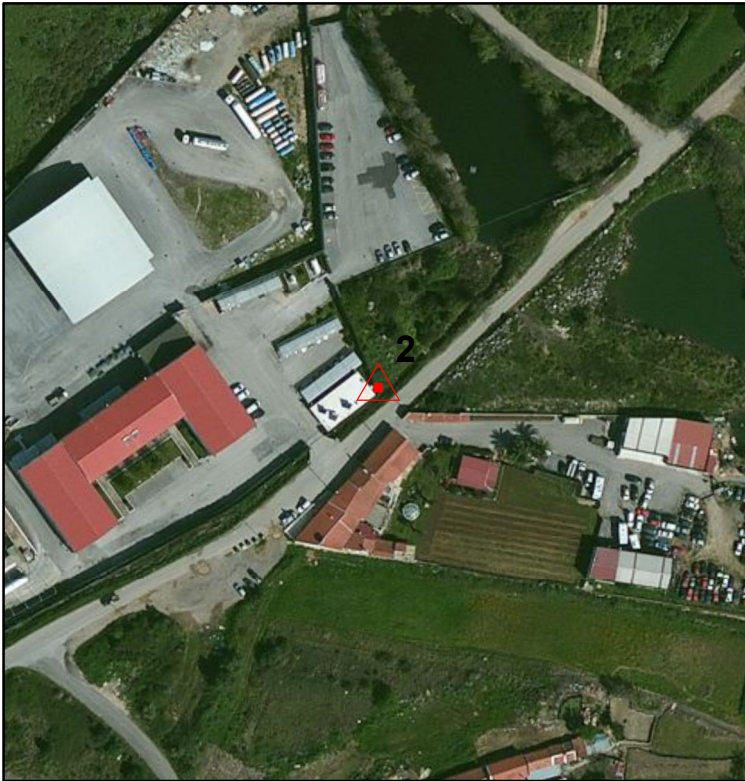
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 3

Nº DA FOTO DSC00039.JPG

Dir. LESTE UTM	472828.134
Dir. NORTE UTM	4297545.286
Alt. Elipsoidal	217.709
N	53.729
COTA OBJETO	163.98
ALTURA OBJETO	2
COTA TERRENO	162.753

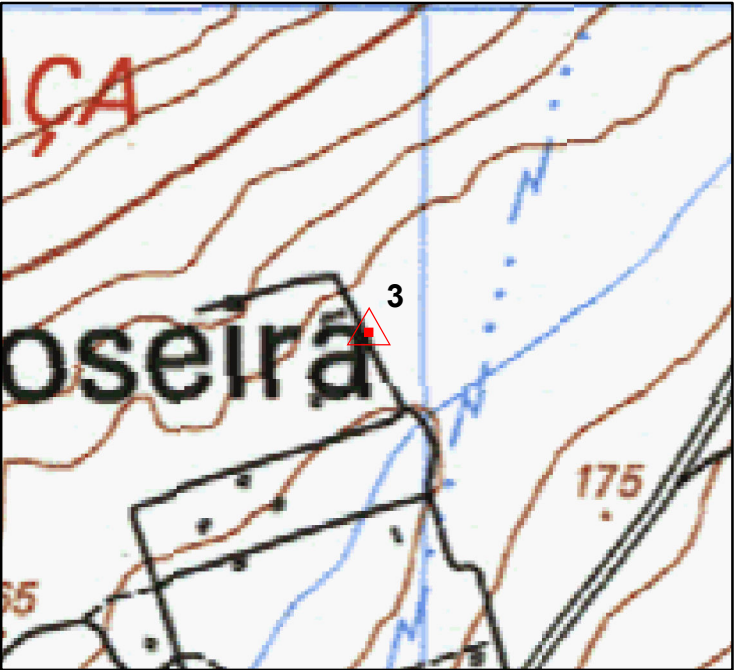
DESCRIÇÃO

Esquina Muro de Quintal

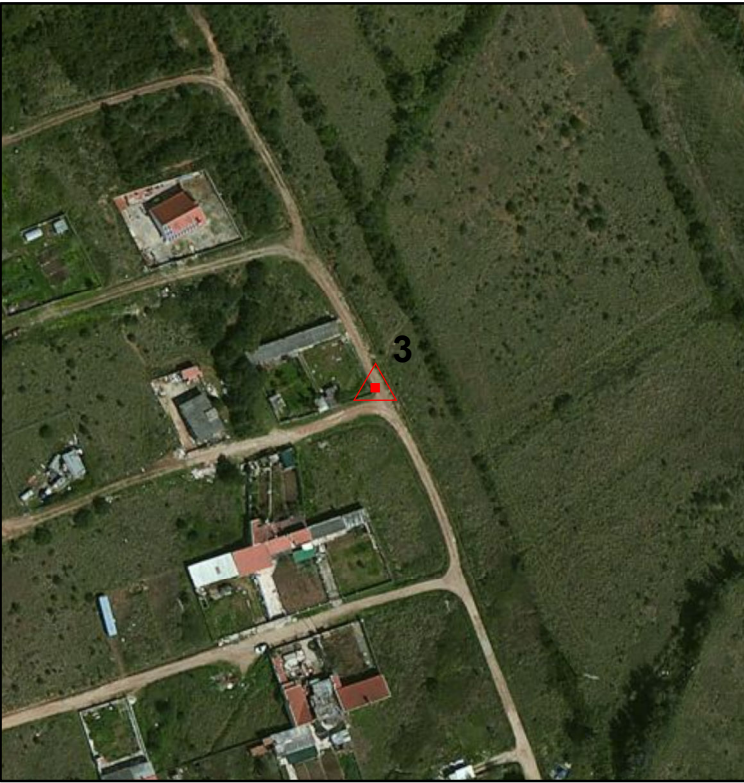
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 4a

Nº DA FOTO DSC00040.JPG

DESCRIÇÃO

Esquina Vedacao de Fabrica

FOTOGRAFIA



Dir. LESTE UTM	473540.092
Dir. NORTE UTM	4298060.52
Alt. Elipsoidal	220.756
N	53.767
COTA OBJETO	166.989
ALTURA OBJETO	2
COTA TERRENO	165.872

EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 4b

Nº DA FOTO DSC00044.JPG

DESCRIÇÃO

Esquina Passeio

Dir. LESTE UTM 473501.731

Dir. NORTE UTM 4298085.067

Alt. Elipsoidal 221.171

N 53.767

COTA OBJETO 167.404

ALTURA OBJETO 2

COTA TERRENO 166.4

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 5

Nº DA FOTO DSC00008.JPG

Dir. LESTE UTM 471422.826

Dir. NORTE UTM 4298441.952

Alt. Elipsoidal 196.671

N 53.742

COTA OBJETO 142.929

ALTURA OBJETO 2

COTA TERRENO 141.546

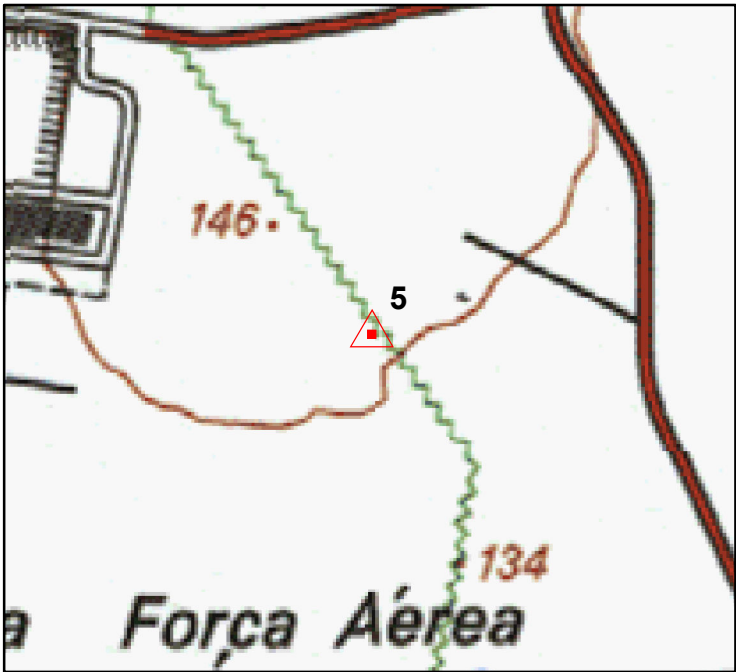
DESCRIÇÃO

Esquina relva
não utilizar (só se mesmo necessario)

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	5a	Dir. LESTE UTM	471774.984
Nº DA FOTO	DSC00046.JPG	Dir. NORTE UTM	4298218.423
DESCRIÇÃO	Esquina Passeio	Alt. Elipsoidal	193.942
		N	53.738
		COTA OBJETO	140.204
		ALTURA OBJETO	2
		COTA TERRENO	138.966

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	6	Dir. LESTE UTM	469425.572
Nº DA FOTO	DSC00028.JPG	Dir. NORTE UTM	4298828.302
DESCRIÇÃO	Esquina Muro	Alt. Elipsoidal	180.129
		N	53.745
		COTA OBJETO	126.384
		ALTURA OBJETO	1.9
		COTA TERRENO	125.576

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

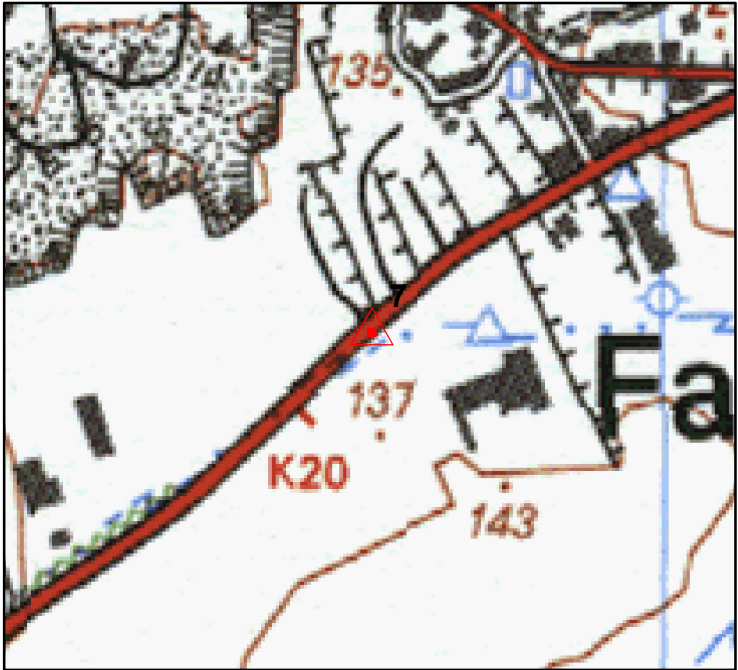
Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	7	Dir. LESTE UTM	470663.243
Nº DA FOTO	DSC00049.JPG	Dir. NORTE UTM	4299507.574
DESCRIÇÃO	Esquina Muro	Alt. Elipsoidal	188.641
		N	53.775
		COTA OBJETO	134.866
		ALTURA OBJETO	2
		COTA TERRENO	133.555

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

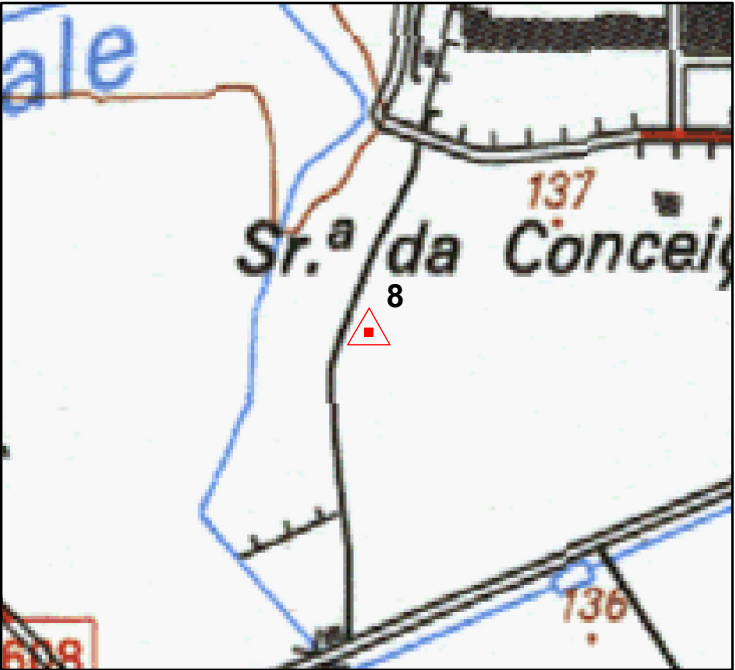
Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	8	Dir. LESTE UTM	471598.445
Nº DA FOTO	DSC00052.JPG	Dir. NORTE UTM	4299467.367
DESCRIÇÃO	Esquina Muro Alto verificar coord (conexao falhou)	Alt. Elipsoidal	194.871
		N	53.788
		COTA OBJETO	141.083
		ALTURA OBJETO	4.2
		COTA TERRENO	139.915

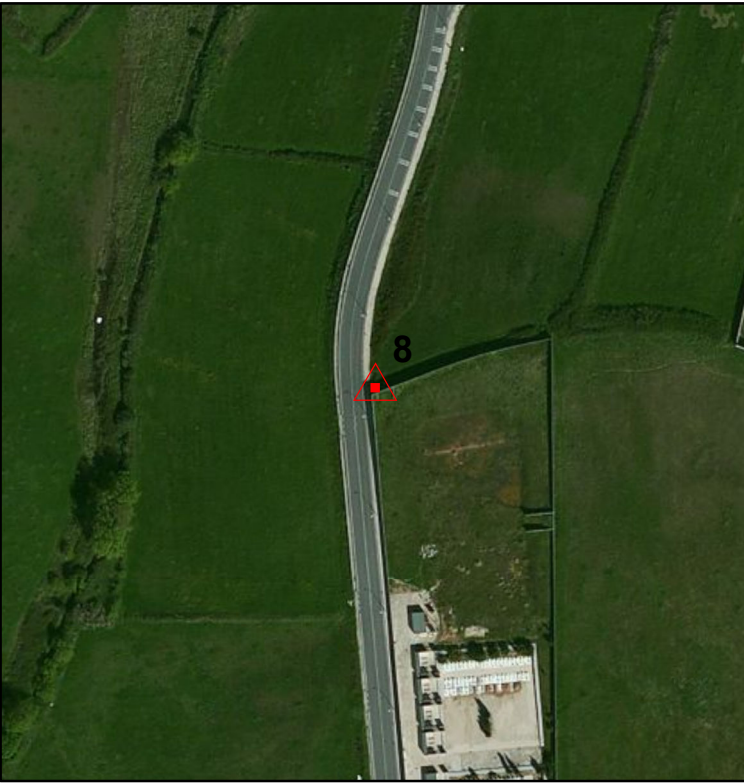
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	9	Dir. LESTE UTM	472910.798
Nº DA FOTO	DSC00053.JPG	Dir. NORTE UTM	4299387.586
DESCRIÇÃO	Esquina de Telhado Anexo topo telhado	Alt. Elipsoidal	221.652
		N	53.807
		COTA OBJETO	167.845
		ALTURA OBJETO	3.55
		COTA TERRENO	166.785

FOTOGRAFIA



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 10

Nº DA FOTO DSC00056.JPG

Dir. LESTE UTM	473587.617
Dir. NORTE UTM	4300328.779
Alt. Elipsoidal	250.583
N	53.854
COTA OBJETO	196.729
ALTURA OBJETO	2.2
COTA TERRENO	195.526

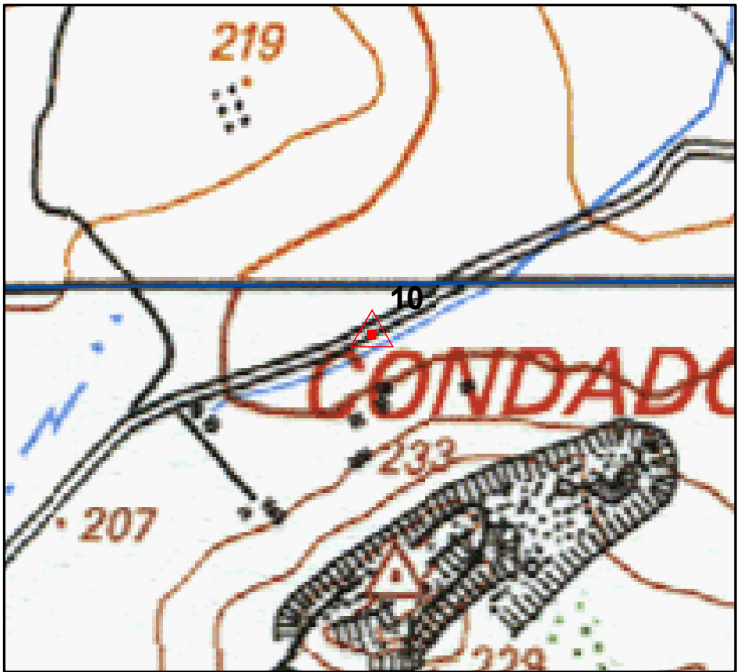
DESCRIÇÃO

Telhado Anexo

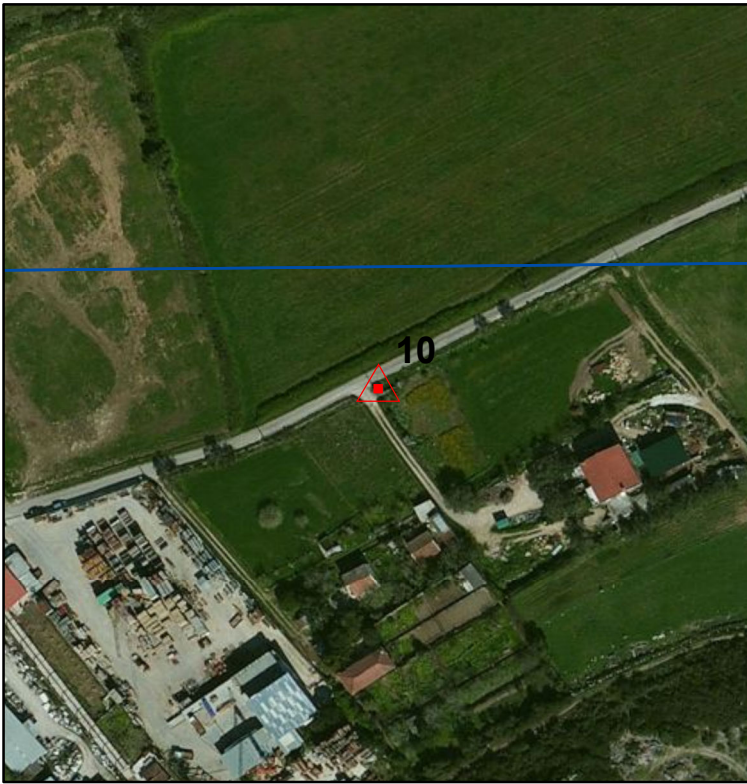
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 11

Nº DA FOTO DSC00059.JPG

Dir. LESTE UTM	472402.072
Dir. NORTE UTM	4301100.688
Alt. Elipsoidal	208.652
N	53.864
COTA OBJETO	154.788
ALTURA OBJETO	1.46
COTA TERRENO	153.356

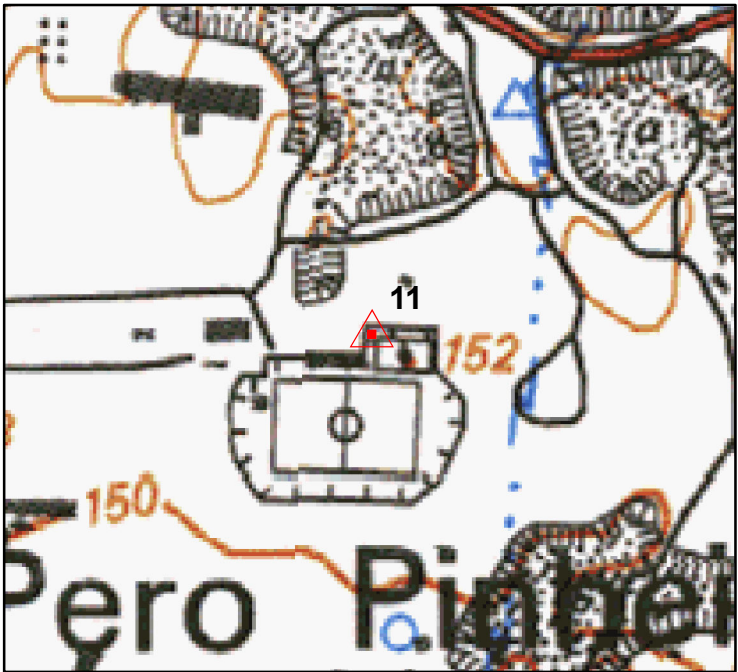
DESCRIÇÃO

Esquina Pilar Estacionamento
pilar superior

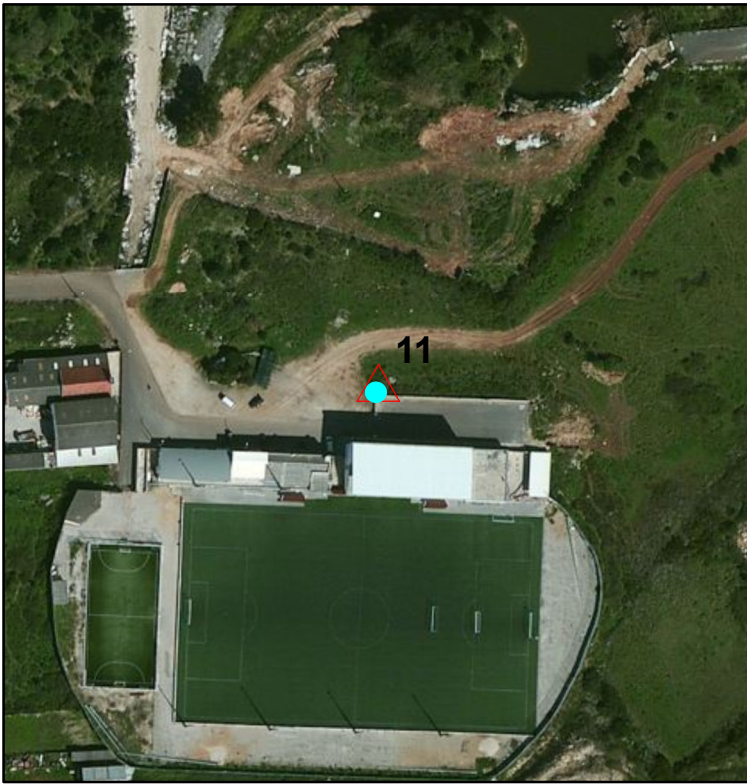
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 12

Nº DA FOTO DSC00061.JPG

DESCRIÇÃO

Esquina Muro Casa

Dir. LESTE UTM 471319.563

Dir. NORTE UTM 4300550.338

Alt. Elipsoidal 204.111

N 53.827

COTA OBJETO 150.284

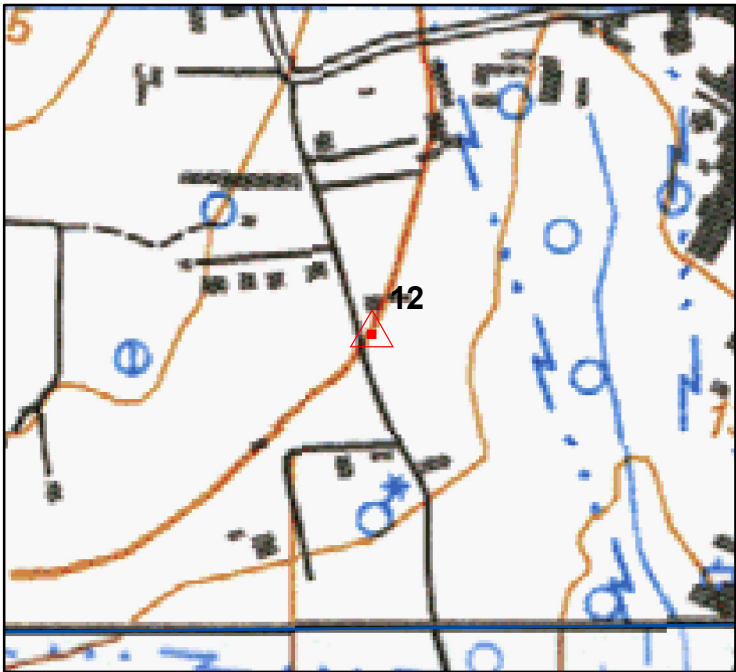
ALTURA OBJETO 2.25

COTA TERRENO 149.1

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

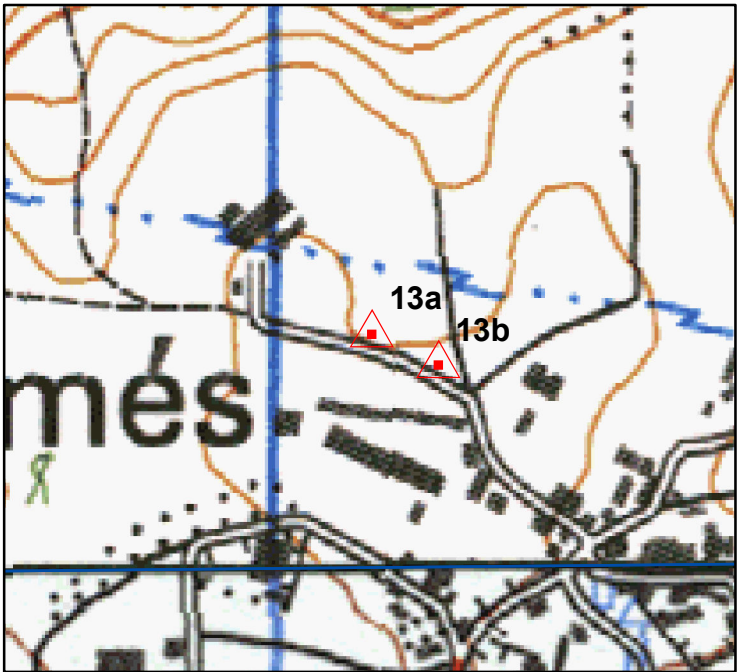
Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	13a	Dir. LESTE UTM	469938.264
Nº DA FOTO	DSC00062.JPG	Dir. NORTE UTM	4300494.1
DESCRIÇÃO	Esquina Passeio	Alt. Elipsoidal	192.824
		N	53.809
		COTA OBJETO	139.015
		ALTURA OBJETO	2
		COTA TERRENO	137.568

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





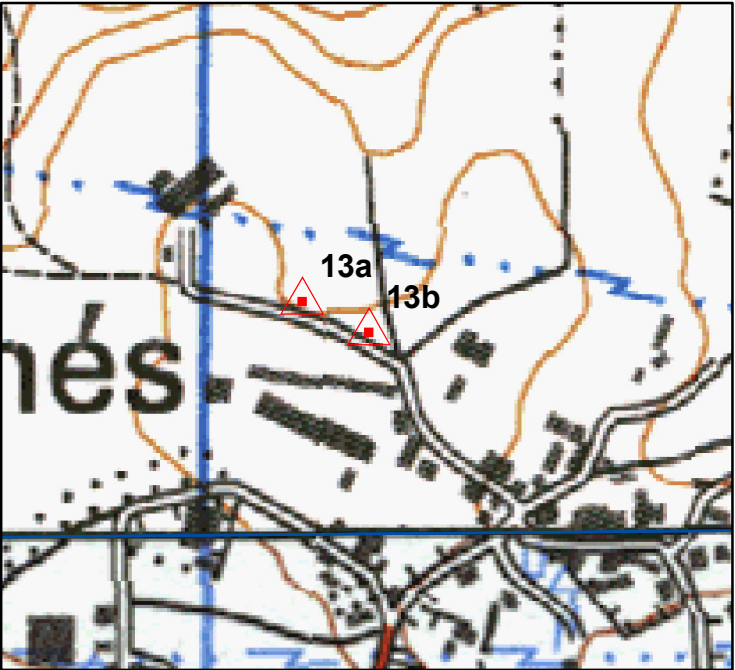
Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	13b	Dir. LESTE UTM	469985.107
Nº DA FOTO	DSC00064.JPG	Dir. NORTE UTM	4300472.285
DESCRIÇÃO	Esquina Passeio	Alt. Elipsoidal	193.927
		N	53.809
		COTA OBJETO	140.118
		ALTURA OBJETO	2
		COTA TERRENO	139.171

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





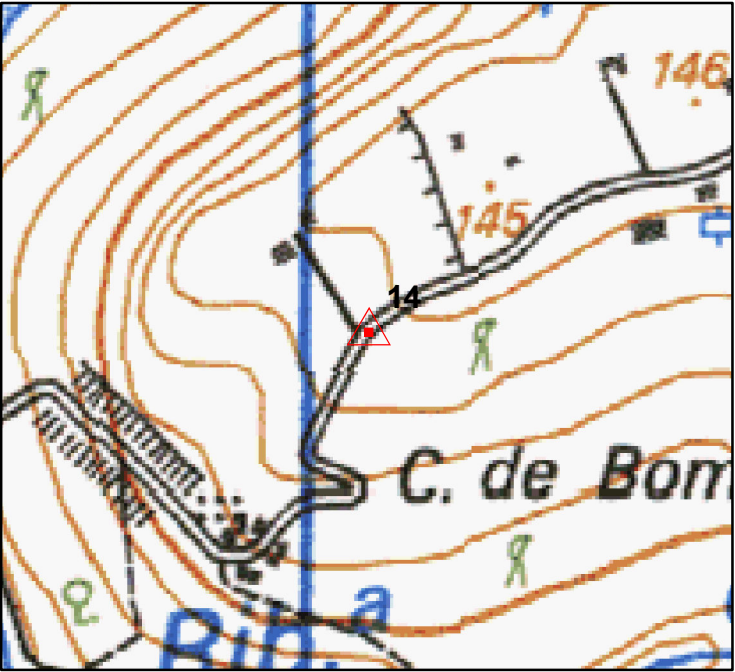
Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	14	Dir. LESTE UTM	469912.956
Nº DA FOTO	DSC00067.JPG	Dir. NORTE UTM	4301112.32
DESCRIÇÃO	Esquina Muro	Alt. Elipsoidal	185.874
		N	53.833
		COTA OBJETO	132.041
		ALTURA OBJETO	2
		COTA TERRENO	131.048

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 15

Nº DA FOTO DSC00069.JPG

DESCRIÇÃO

Esquina Muro

Dir. LESTE UTM 469014.693

Dir. NORTE UTM 4301547.278

Alt. Elipsoidal 199.659

N 53.839

COTA OBJETO 145.82

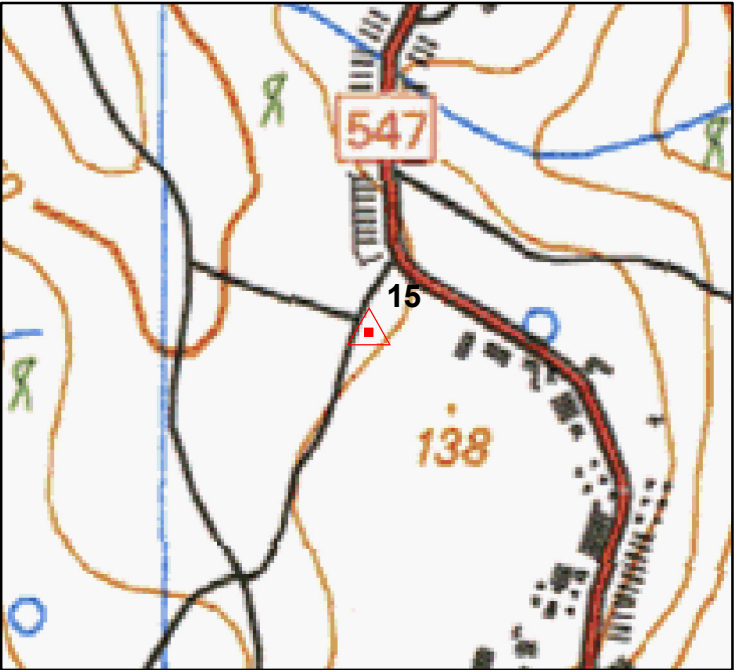
ALTURA OBJETO 1.5

COTA TERRENO 143.544

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 16

Nº DA FOTO DSC00074.JPG

DESCRIÇÃO

Esquina Muro
fast static

Dir. LESTE UTM 468970.883

Dir. NORTE UTM 4302626.316

Alt. Elipsoidal 238.584

N 53.853

COTA OBJETO 184.731

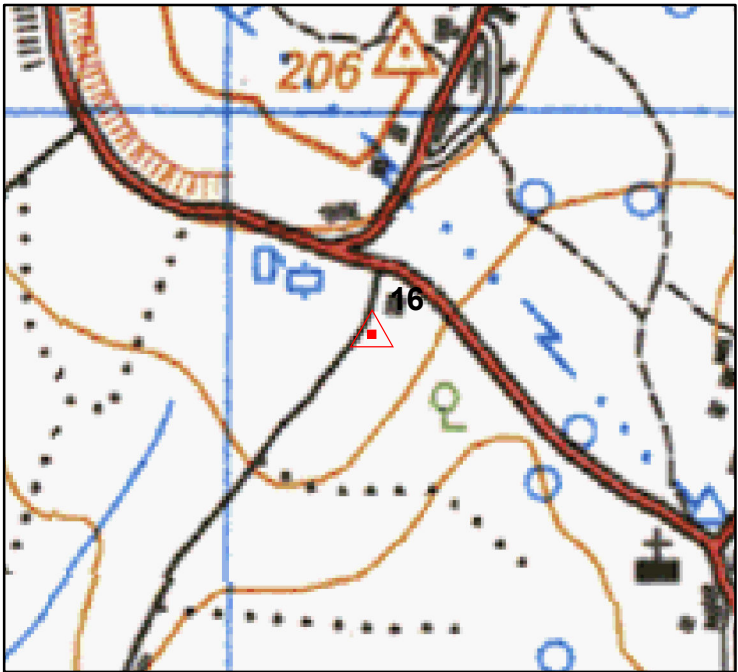
ALTURA OBJETO 1.25

COTA TERRENO 184.731

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 17

Nº DA FOTO DSC00076.JPG

Dir. LESTE UTM	470740.822
Dir. NORTE UTM	4302322.274
Alt. Elipsoidal	216.471
N	53.865
COTA OBJETO	162.606
ALTURA OBJETO	2.2
COTA TERRENO	161.44

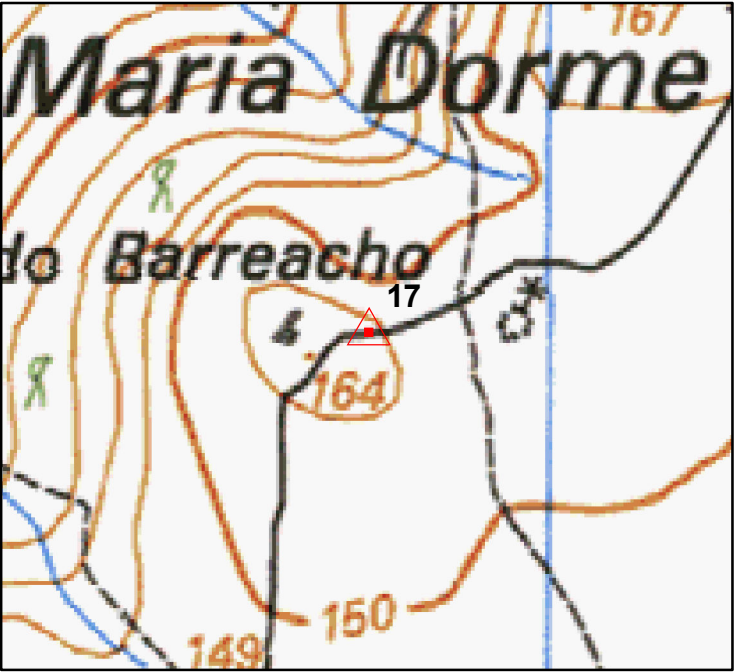
DESCRIÇÃO

Esquina Muro

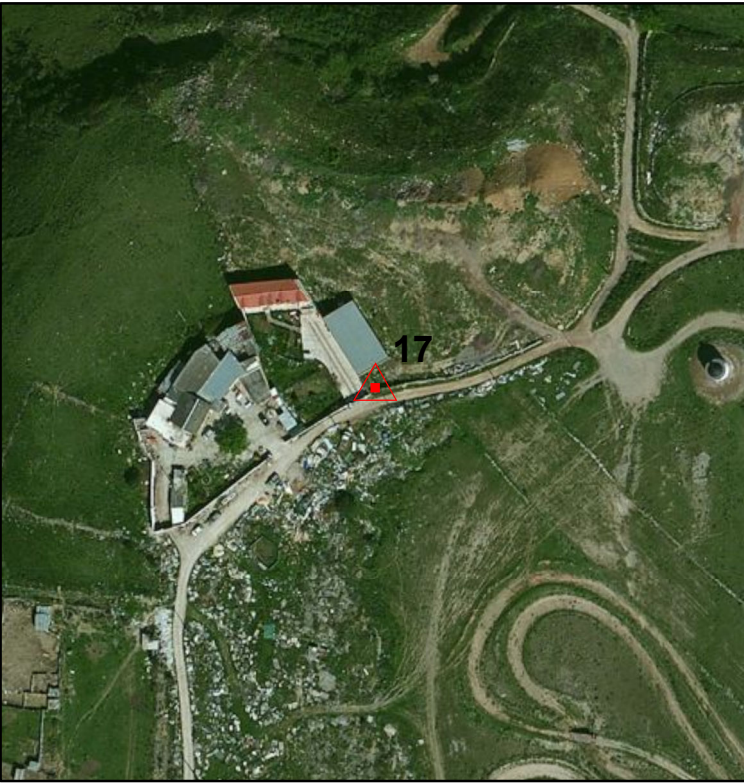
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



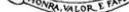
EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

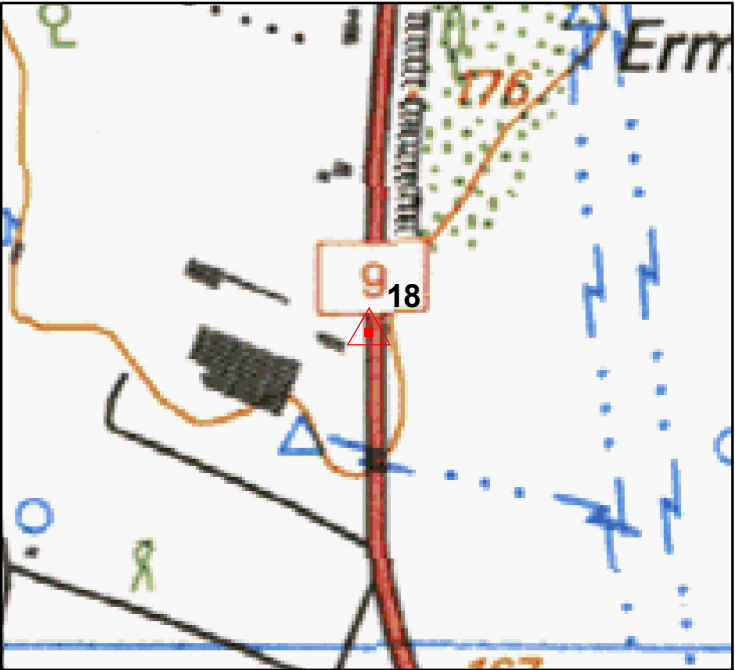
Relatório do Apoio de Cap Baldaia

		Dir. LESTE UTM	471384.92
Nº DO PONTO	18	Dir. NORTE UTM	4303006.335
Nº DA FOTO	DSC00078.JPG	Alt. Elipsoidal	226.396
DESCRIÇÃO	Esquina Muro	N	53.879
		COTA OBJETO	172.517
		ALTURA OBJETO	1.9
		COTA TERRENO	170.389

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 19

Nº DA FOTO DSC00079.JPG

DESCRIÇÃO

Esquina Muro

Dir. LESTE UTM 473150.842

Dir. NORTE UTM 4302351.743

Alt. Elipsoidal 184.762

N 53.899

COTA OBJETO 130.863

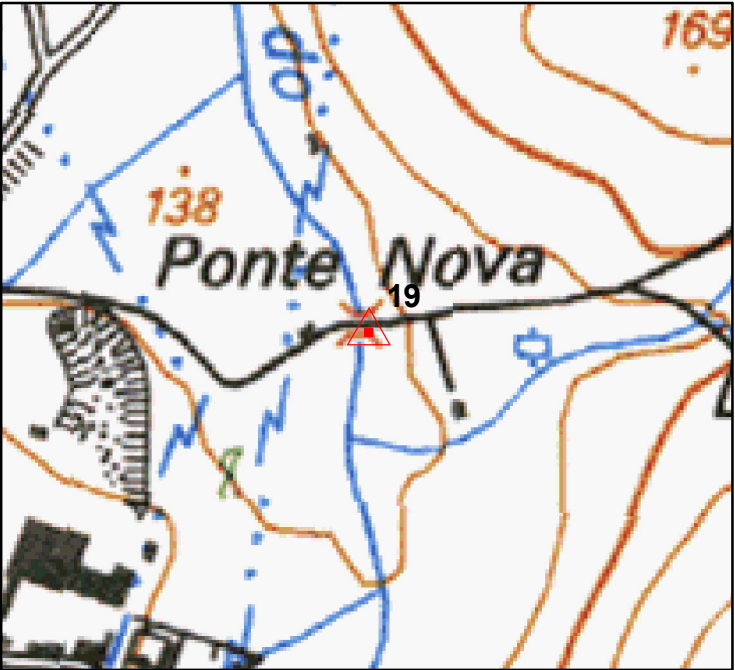
ALTURA OBJETO 2

COTA TERRENO 129.838

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 20

Nº DA FOTO DSC00087.JPG

Dir. LESTE UTM	471388.633
Dir. NORTE UTM	4301403.758
Alt. Elipsoidal	209.033
N	53.862
COTA OBJETO	155.171
ALTURA OBJETO	1.1
COTA TERRENO	153.631

DESCRIÇÃO

Esquina Muro do Campo de Futebol

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 21a

Nº DA FOTO DSC00002.JPG

Dir. LESTE UTM	470676.032
Dir. NORTE UTM	4298885.595
Alt. Elipsoidal	196.52
N	53.749
COTA OBJETO	142.771
ALTURA OBJETO	2
COTA TERRENO	141.677

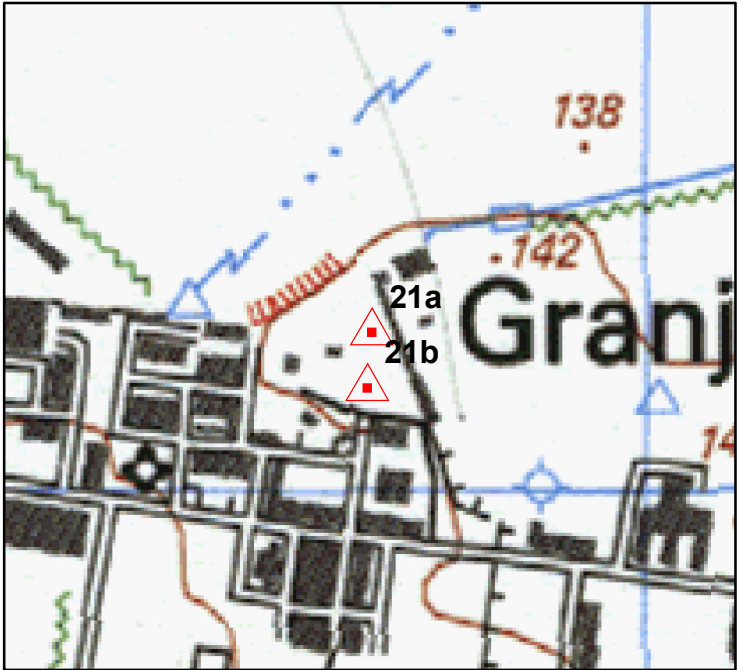
DESCRIÇÃO

Esquina Passeio

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 21b

Nº DA FOTO DSC09995.JPG

DESCRIÇÃO

Esquina Passeio

Dir. LESTE UTM 470673.03

Dir. NORTE UTM 4298846.366

Alt. Elipsoidal 195.353

N 53.748

COTA OBJETO 141.605

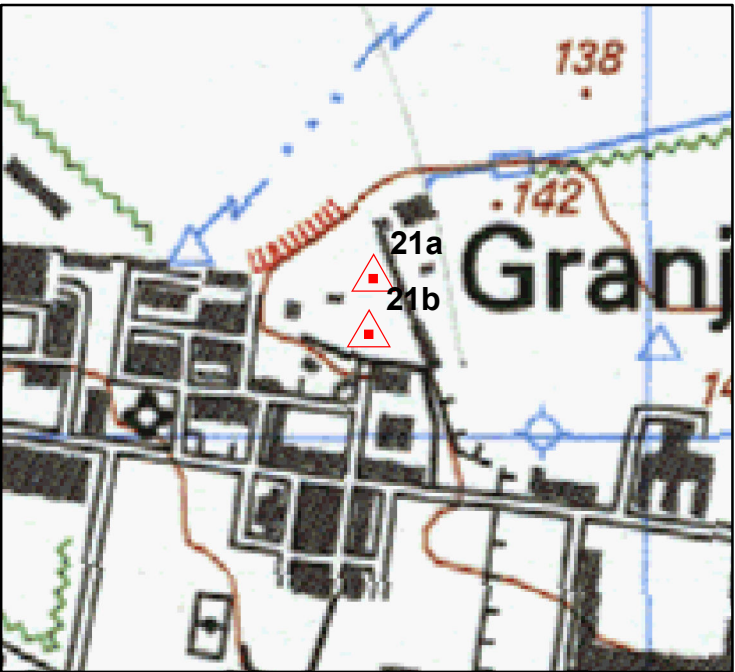
ALTURA OBJETO 2

COTA TERRENO 140.549

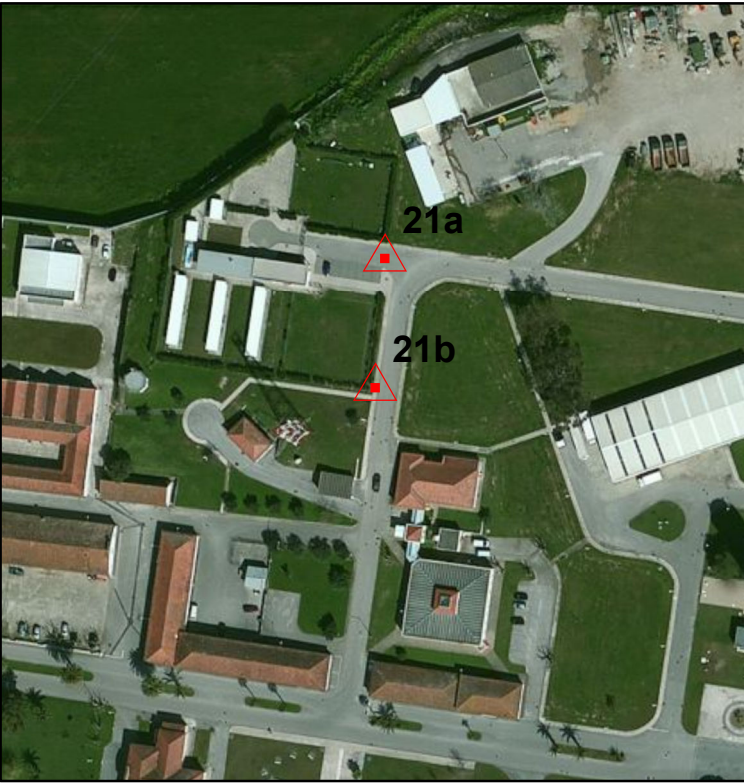
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Instituto Geográfico do Exército
Centro de Produção Cartográfica
Departamento de Aquisição de Dados
Seção de Topografia

Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO	22a	Dir. LESTE UTM	470246.364
Nº DA FOTO	DSC00013.JPG	Dir. NORTE UTM	4298801.382
DESCRIÇÃO	Esquina Parque Estacionamento canto inferior	Alt. Elipsoidal	183.261
		N	53.745
		COTA OBJETO	129.516
		ALTURA OBJETO	2
		COTA TERRENO	128.135

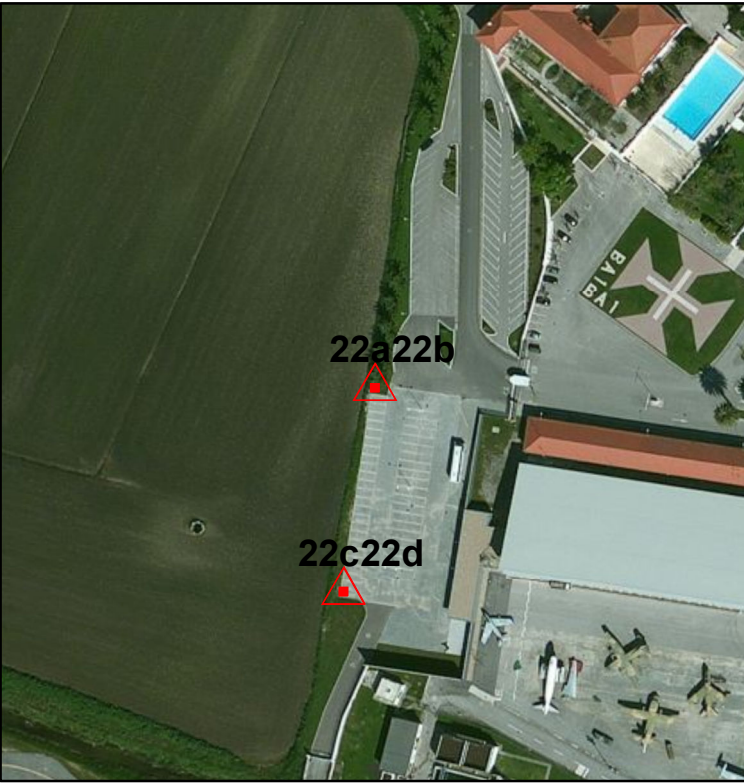
FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 22b

Nº DA FOTO DSC00018.JPG

Dir. LESTE UTM	470246.225
Dir. NORTE UTM	4298801.528
Alt. Elipsoidal	183.432
N	53.746
COTA OBJETO	129.686
ALTURA OBJETO	2
COTA TERRENO	128.499

DESCRIÇÃO

Esquina Parque Estacionamento
canto superior

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO





Relatório do Apoio de Cap Baldaia

Nº DO PONTO 22c

Nº DA FOTO DSC00020.JPG

Dir. LESTE UTM	470236.867
Dir. NORTE UTM	4298739.826
Alt. Elipsoidal	181.826
N	53.743
COTA OBJETO	128.083
ALTURA OBJETO	2
COTA TERRENO	126.818

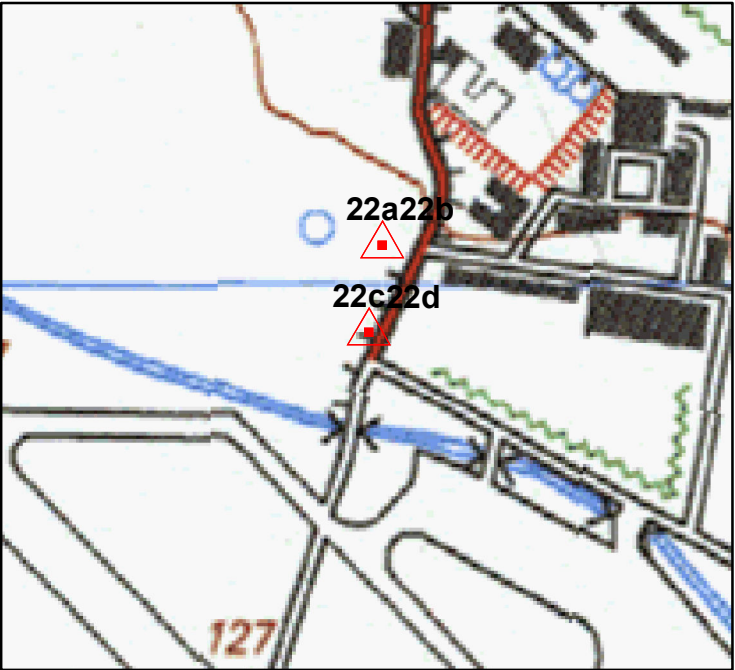
DESCRIÇÃO

Esquina Parque Estacionamento
canto inferior

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888




EXTRATO ORTO





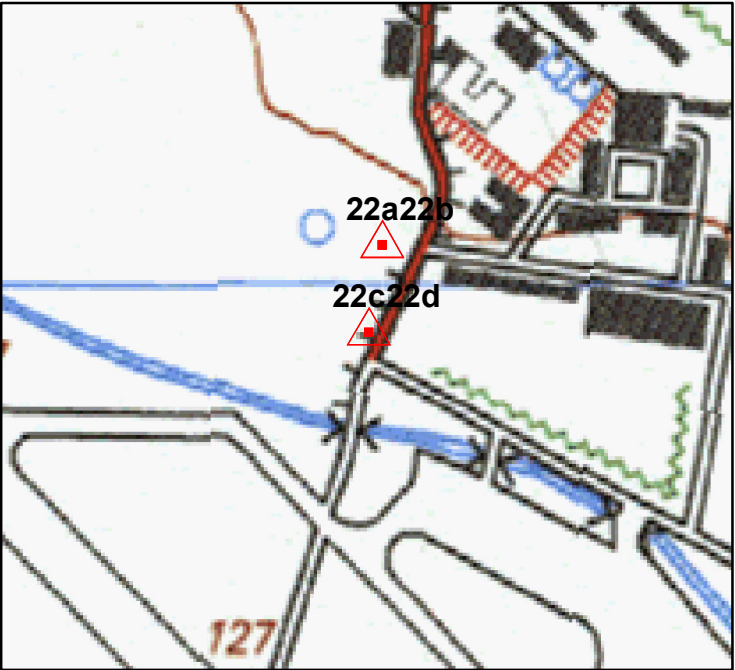
Relatório do Apoio de Cap Baldaia

			
Nº DO PONTO	22d	Dir. LESTE UTM	470236.695
Nº DA FOTO	DSC00024.JPG	Dir. NORTE UTM	4298739.712
DESCRIÇÃO	Esquina Parque Estacionamento canto superior	Alt. Elipsoidal	181.945
		N	53.743
		COTA OBJETO	128.202
		ALTURA OBJETO	2
		COTA TERRENO	127.134

FOTOGRAFIA



EXTRATO M888



EXTRATO ORTO

